

Treball de Fi de Grau

## **Grau d'Enginyeria en Tecnologies Industrials**

### **Instal·lació per a ACS i calefacció solar a una masia. Solucions de mercat i estudi d'alternatives innovadores.**

#### **MEMÒRIA**

**Autor:** Jené Vinuesa, Marc  
**Director:** Bonals Muntada, Lluís Albert  
**Convocatòria:** Juny 2017



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



## Resum

El projecte busca estudiar la possibilitat d'implementar una instal·lació solar per a aigua calenta i per a calefacció en una masia que exerceix com a habitatge unifamiliar. Un cop dissenyat el sistema es valorarà la seva viabilitat.

El projecte es separa en cinc blocs importants, als quals se li ha afegit un de complementari. Primerament es defineix l'habitatge i se'n calculen les necessitats energètiques amb mètodes teòrics. La demanda energètica teòrica de la calefacció es compararà amb la demanda real de l'últim any.

En el segon bloc es desenvolupa tot el que fa referència a la zona de captació. Es dimensionarà l'àrea que s'ha de destinar als captadors i es calcularà quina cobertura anual ens poden aportar aquests. Això es farà per al sistema de calefacció i el d'ACS per separat.

Seguidament es dimensionarà el sistema d'acumulació i es calcularan i es concretaran la resta d'elements del circuit primari, com ho són la xarxa de canonades, el fluid caloportador, el vas d'expansió, la bomba hidràulica, les vàlvules i els sistemes de regulació i control de la instal·lació. Altre cop això s'estudiarà per al sistema de calefacció i el d'ACS per separat.

El quart bloc correspon a l'estudi de l'acoblament entre el circuit primari i el secundari. En el cas del sistema per a ACS això significa bàsicament connectar el dipòsit acumulador amb la xarxa de canonades de l'habitatge. Pel que fa al sistema de calefacció caldria acoblar el dipòsit interacumulador amb el sistema auxiliar, el qual ja estarà connectat al sistema de calefacció.

Finalment el cinquè apartat consisteix en un estudi econòmic sobre les tres alternatives que s'han anat treballant al llarg del projecte (calefacció, ACS o les dues juntes). Amb aquest estudi es raonarà fins a quin punt pot ser rendible implementar aquestes instal·lacions.

Com a punt complementari s'ha volgut estudiar per sobre les innovacions que estan sorgint relacionades amb aquest tipus d'energia. Algunes d'elles encara no estan al mercat i altres tot just hi estan entrant, però de ben segur que en milloraran la rendibilitat.



# Sumari

<b>RESUM</b>	<b>1</b>
<b>SUMARI</b>	<b>3</b>
<b>1. GLOSSARI</b>	<b>6</b>
<b>2. PREFACI</b>	<b>7</b>
2.1. Origen del projecte .....	7
2.2. Motivació .....	7
2.3. Requeriments previs .....	7
<b>3. INTRODUCCIÓ</b>	<b>8</b>
3.1. Objectius del projecte .....	8
3.2. Abast del projecte .....	8
<b>4. CONTEXT ENERGÈTIC</b>	<b>9</b>
<b>5. DESCRIPCIÓ DE L'HABITATGE</b>	<b>11</b>
5.1. Localització de la masia .....	11
5.2. Arquitectura i distribució de l'habitatge .....	12
5.3. Sistemes subministradors actuals .....	13
5.3.1. Sistema per a l'ACS .....	13
5.3.2. Sistema per a la calefacció .....	13
<b>6. CONSUMS I NECESSITATS ENERGÈTIQUES</b>	<b>15</b>
6.1. Consum ACS i energia associada .....	15
6.2. Càrrega tèrmica màxima i consum de la calefacció .....	18
6.2.1. Càrrega tèrmica màxima per transmissió de calor .....	18
6.2.2. Càrrega tèrmica màxima per ventilació .....	22
6.2.3. Estimació de la demanda energètica .....	25
6.2.4. Comparació consum teòric amb consum real .....	27
6.3. Energia necessària total .....	30
<b>7. SISTEMA DE CAPTACIÓ</b>	<b>32</b>
7.1. Col·lectors solars tèrmics .....	32
7.1.1. Funcionament i balanç energètic .....	32
7.1.2. El captador pla .....	34
7.2. Consideracions prèvies .....	34
7.2.1. Contribució solar mínima per ACS segons el CTE .....	34



7.2.2.	Pèrdues per orientació i inclinació .....	35
7.2.3.	Pèrdues per ombres .....	37
7.2.4.	Radiació mensual .....	38
7.3.	Predimensionament de l'àrea de captació .....	38
7.4.	Dimensionament àrea captació.....	40
7.4.1.	Mètode de càlcul F-Chart .....	40
7.4.2.	Dimensionament amb productes de mercat .....	42
<b>8.</b>	<b>INSTAL·LACIÓ SOLAR .....</b>	<b>47</b>
8.1.	Intercanviador de calor .....	47
8.2.	Acumuladors .....	47
8.3.	Circuit primari .....	48
8.3.1.	Condicions de treball .....	49
8.3.2.	Conduccions .....	50
8.3.3.	Vas d'expansió.....	54
8.3.4.	Bomba de circulació .....	58
8.3.5.	Sistema de purga.....	61
8.3.6.	Vàlvules de seguretat i de retenció .....	62
8.3.7.	Sistema de control .....	63
8.4.	Sistemes auxiliars .....	64
<b>9.</b>	<b>CIRCUIT SECUNDARI .....</b>	<b>65</b>
9.1.	Instal·lació d'ACS.....	65
9.1.1.	Acoblament amb instal·lació solar.....	65
9.1.2.	Legionel·losis .....	65
9.2.	Instal·lació de calefacció.....	66
9.2.1.	Acoblament amb instal·lació solar.....	67
<b>10.</b>	<b>MANTENIMENT .....</b>	<b>68</b>
<b>11.</b>	<b>ESTUDI ECONÒMIC .....</b>	<b>69</b>
11.1.	Cost inicial instal·lacions.....	69
11.2.	Comparació alternatives.....	70
11.2.1.	Elecció amb el Valor Actual Net (VAN).....	70
11.2.2.	Taxa Interna de Rendibilitat (TIR) de l'alternativa òptima .....	73
11.3.	Avaluació de l'estudi econòmic .....	73
<b>12.</b>	<b>ALTERNATIVES INNOVADORES I POSSIBLES MILLORES .....</b>	<b>74</b>
12.1.	Captador solar de tubs de buit .....	74
12.2.	Panells solars híbrids.....	75
12.3.	Altres millores dins del circuit tèrmic .....	77

12.3.1. Acumuladors d'inèrcia .....	77
12.3.2. Intercanviador de plaques .....	78
<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>79</b>
<b>AGRAÏMENTS</b> .....	<b>80</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>81</b>
Referències bibliogràfiques .....	81
Bibliografia complementària .....	82

## 1. Glossari

ACS	Aigua Calenta Sanitària
PER	Plan Energías Renovables
CTE	Código Técnico Edificación
RITE	Reglamento Instalaciones Térmicas en los Edificios
DB	Documento Básico
HE	Ahorro Energético
HS	Salubridad
HDD	Graus dia calefacció
PCI	Poder calorífic inferior
PCS	Poder calorífic superior
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
UNE-EN	Una Norma Española – European Norm
VAN	Valor Actual Net
TIR	Taxa Interna Rendibilitat
REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
PER	Plan de Energías Renovables 2011-2020
TS	Temperatura Seca
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
DE	Demanda Energètica
CA	Consum Anual
RD	Real Decreto

## **2. Prefaci**

### **2.1. Origen del projecte**

L'origen d'aquest projecte rau en l'afany de trobar una aplicació pràctica dels coneixements adquirits al llarg del grau relacionada amb el món de les energies renovables. L'objectiu final serà aprendre a dissenyar una instal·lació tèrmica partint de càlculs teòrics que permetin extrapolar els coneixements una ample diversitat d'altres projectes reals.

### **2.2. Motivació**

Les motivacions precursors d'aquest treball són tres. Primerament, les ganes d'introduir-me al món de les energies renovables. La segona és la gran quantitat de conceptes sobre la calor que engloba aquest projecte, ja que l'assignatura de Termodinàmica ha estat una de les que més he gaudit al llarg del grau. Finalment, s'ha decidit dissenyar la instal·lació per aquesta masia ja que es volia realitzar sobre una edificació real i diferent, amb la que em pogués trobar amb problemes reals. D'altra banda, i com a punt extra, hi ha el fet de que el propietari de la masia és el meu tiet i fa anys que li vaig prometre que en un futur li dissenyaria algun sistema domèstic per aprofitar les energies renovables.

### **2.3. Requeriments previs**

Al llarg d'aquest estudi han estat bàsics els coneixements teòrics de Termodinàmica, Termodinàmica i Mecànica de Fluids, sobretot.

D'altra banda s'ha necessitat documents tècnics com el CTE i el RITE relacionats amb l'estalvi energètic i les instal·lacions tèrmiques, respectivament.

Finalment, han estat necessaris els plànols dels habitatges, el coneixement dels tancaments i altres fets relacionats amb l'arquitectura de l'edificació que en cas de dubte s'han resolt assistint personalment a l'edificació.

## **3. Introducció**

### **3.1. Objectius del projecte**

L'objectiu d'aquest treball és dissenyar una instal·lació solar per a aigua calenta sanitària i per a calefacció per a una masia, en la qual hi resideix una família, localitzada a les afores del municipi de Collsuspina, al Moianès. Amb aquest disseny es pretén valorar la viabilitat i la rendibilitat d'una instal·lació així en aquest habitatge.

Un cop realitzat aquest estudi es compartirà amb els propietaris de la finca, per a que, en cas de ser rendible, valorin la implementació d'aquest sistema.

### **3.2. Abast del projecte**

Primerament es realitzarà un estudi de l'habitatge sobre el qual es dissenyarà la instal·lació per a conèixer-ne les necessitats d'aigua calenta i les possibilitats que té la instal·lació.

Un cop realitzat aquest estudi es dimensionarà i es dissenyarà el sistema de captació i seguidament es dimensionaran tots els altres elements que prenen partit en una instal·lació solar. Finalment es comentarà breument de quina manera s'acoblarà aquest sistema a les instal·lacions d'ACS i de calefacció ja presents a l'edificació. Un cop dissenyada, es valorarà la seva implementació amb alguns indicadors econòmics.

Tot l'estudi es realitzarà pensant en utilitzar solucions que es poden trobar actualment en el mercat. Finalment, però, es comentaran un parell de solucions innovadores que poden millorar l'aprofitament d'aquest tipus d'energia en un futur proper.

## 4. Context energètic

Són molts els factors de tipus social, polític, tècnic i econòmic que estan modificant les pautes de consum d'energia, alhora que en modifiquen les seves formes de producció i abastiment.

La demanda energètica augmenta ja que la seva evolució depèn no únicament de l'activitat econòmica i de les condicions climàtiques, sinó també de la tendència a satisfer un nombre major de necessitats que van lligades a una evolució de la societat del benestar.

És en aquest context on les energies renovables han de prendre la iniciativa per tal de garantir un creixement i una evolució sostenible i continuada. Segons el REN21, aquesta idea és compartida cada cop per més gent, i és que les energies renovables, juntament amb l'eficiència energètica, no són crítiques únicament per atendre el canvi climàtic, sinó que també ho són per a crear oportunitats econòmiques i proporcionar accés a l'energia a milions de persones que encara no compten amb serveis moderns per al subministrament energètic.[19]

A l'any 2010 prop d'un 25% de l'energia global va sorgir d'una font renovable. Més de la meitat d'aquesta energia obtinguda a través de fonts renovables correspon a l'energia eòlica, mentre que només un 20% correspon a l'energia solar. Queda clar, doncs, que aquesta energia té un gran camí per endavant.

Dins d'aquest panorama es fàcil preveure que Espanya podria ocupar un dels llocs capdavaners en la producció d'energia solar. En el cas de la fotovoltaica no és així, degut a un conjunt de polítiques relacionades amb el PER que es van exercir uns anys enrere i de les quals no se'n parlarà en aquest treball. Tot i això, pel que fa a l'energia solar tèrmica de concentració, Espanya sí que n'és capdavantera, tal com es pot veure a la Figura 4.1.

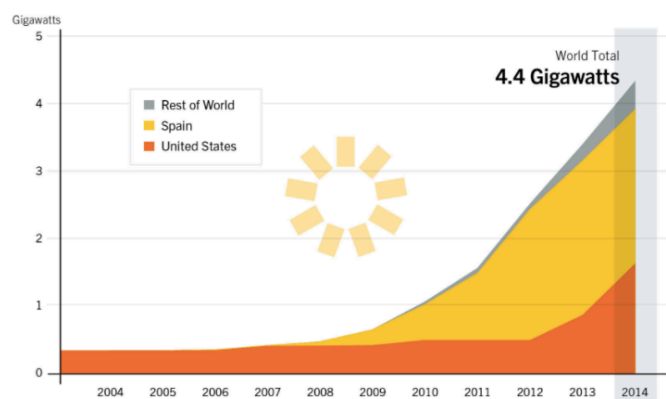


Figura 4.1 Capacitat d'energia solar tèrmica de concentració. Font: [19]

D'altra banda ens trobem també amb l'energia solar tèrmica d' s dom stica, aquella encarregada d'escalfar aigua ja sigui per al consum o per a la calefacció.

Les instal·lacions d'aquest caire són cada vegada més extenses i  s que actualment, tant el RITE com el CTE compten amb unes exigències d'estalvi energètic per a les noves edificacions en les quals s'hi troba, per exemple, un tant per cent mínim de cobertura solar pel que fa a l'energia destinada a l'escalfament de l'ACS.

En aquest estudi es partir  dels documents del RITE i del CTE per a dissenyar una instal·lació per a ACS i calefacció solar per a una masia ja construïda, tot i que no seria obligatori en aquest cas, al no ser un nou habitatge.

## 5. Descripció de l'habitatge

Com s'ha comentat prèviament, el projecte consisteix en dissenyar un sistema d'obtenció d'aigua calenta sanitària i calefacció solar per abastar al Mas Espinoi i veure si una instal·lació d'aquest tipus pot ser rendible en aquest cas.

El Mas Espinoi és una antiga masia catalana actualment és reconvertida en un habitatge on hi viu una parella amb una filla. Aquest mas és citat en documents medievals del segle XVII, però és conegut que al segle XIX va ser reconstruït i reformat. Així doncs, al treballar sobre una edificació antiga, s'hauran de rebutjar moltes alternatives apropiades per a noves edificacions que fan l'ús d'energia solar tèrmica més òptim.

A la Figura 5.1 es pot veure una imatge de com llueix actualment la masia. Aquesta imatge capta les parets enfocades cap al sud i cap al oest.



*Figura 5.1 Masia de l'Espinol*

### 5.1. Localització de la masia

L'Espinol es troba dalt d'un pujol a les afores del municipi de Collsuspina, pertanyent a la comarca del Moianès. Els dos dipòsits d'aigua del poble són el Picanyol i el Bellver, el qual alimenta a les masies disseminades, entre les que podem trobar l'Espinol.

Amb clima mediterrani continental, els hiverns són molt freds mentre que els estius són calorosos.



Pel que fa a les coordenades, importants a l'hora de decidir l'orientació dels captadors solars, són les següents:  $41^{\circ}48'59.8''N$   $2^{\circ}10'26.2''E$ , o el que és el mateix,  $41,8166^{\circ}N$   $2.1739^{\circ}E$ .

L'Espinoi, com la majoria de les masies, disposa d'un gran avantatge a l'hora de realitzar una instal·lació solar, i és que no hi ha cap element que li pugui fer ombres més enllà d'ella mateixa, i l'àrea potencial per a col·locar-hi els captadors no es veu limitada. Altrament, també com la majoria de les masies, es troba als quatre vents, fet que disminueix la temperatura interior de la casa i implica un consum de calefacció superior en les èpoques fredes.

## 5.2. Arquitectura i distribució de l'habitatge

A la Figura 5.2 es pot veure el plànol de la planta central de la masia amb les mesures en metres i les habitacions.

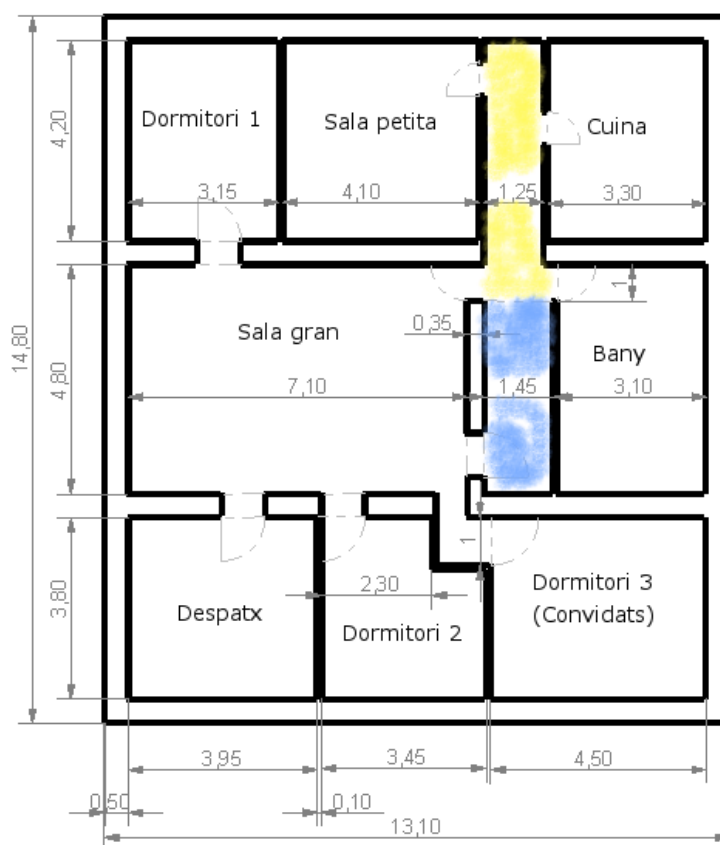


Figura 5.2 Plànol planta central Espinoi. Color groc: Passadís. Color blau: Escales. Font pròpia

Reconstruïda l'any 1811, la masia comparteix característiques amb moltes altres de l'època. Les façanes són construïdes a base de pedra natural i fang. Aquestes tenen un gruix considerable, de mig metre. La coberta és una teulada a dues aigües

L'habitatge consta de tres plantes d'uns  $160\text{m}^2$  cadascuna. La planta superior està inhabitada i actualment s'utilitza com a golfes on guardar-hi material en desús, mentre que la planta inferior és on dorm el gos de la família i on s'hi guarden determinats objectes. Així doncs, és a la planta central on la família viu, i per tant és aquesta l'única que disposa d'un sistema de calefacció, basat en radiadors.

### **5.3. Sistemes subministradors actuals**

Abans de realitzar el disseny d'una instal·lació solar tèrmica en una edificació ja existent cal conèixer els sistemes amb els que compte aquesta, ja que molt possiblement es podran aprofitar com a sistemes auxiliars reduint-ne considerablement el consum.

#### **5.3.1. Sistema per a l'ACS**

Actualment, per a escalfar l'aigua calenta sanitària, s'utilitza un termo elèctric.

Aquest sistema és el més típic per a abastir ACS i consisteix en un dipòsit o caldera, una resistència elèctrica i un termòstat. El dipòsit està sempre ple d'aigua i a una certa pressió. Quan s'assoleix la temperatura desitjada, el termòstat interromp l'alimentació de corrent cap a la resistència. Al consumir aigua calenta de la caldera, s'introdueix aigua freda. És aleshores quan el termòstat es refreda i tanca el circuit posant en funcionament la resistència de nou.

La resistència, per norma general, s'ubica a la part inferior del termo, ja que per convecció serà on s'ubicarà l'aigua freda, fet que permetrà que el rendiment d'aquesta resistència sigui superior.

El termo elèctric actual té un rendiment aproximat del 95%.

#### **5.3.2. Sistema per a la calefacció**

El sistema de calefacció de l'habitatge és una estufa de pellets.

Les estufes de pellets són un sistema de calefacció que no emeten  $\text{CO}_2$  i que rendeixen entre un 30% i un 50% millor que les estufes de gasoil, butà, propà o les calefaccions elèctriques. El combustible utilitzat és el pellet, un biocombustible que a base d'un conglomerat de fusta que no desprèn fum al cremar ja que el seu contingut d'humitat és pràcticament nul i que no genera massa cendra. El pellet escalfa tres cops més que la llenya

i té un preu econòmic, que actualment està augmentant.

Aquesta estufa té un dipòsit que es carrega de pellets i l'únic manteniment que necessita és una neteja diària consistent en l'aspiració del cendrer i revisions anuals o bianuals de la instal·lació.

En aquest cas, l'estufa té un rendiment aproximat del 90%.

## 6. Consums i necessitats energètiques

Calcular les necessitats energètiques exactes d'un habitatge és una feina pràcticament impossible, aquestes es basen en patrons d'ús que poden presentar fortes variacions ja que depenen de la conducta humana. Per aquesta raó es treballa amb unes dades base que s'aproximen als valors reals.

### 6.1. Consum ACS i energia associada

Tal com es pot veure a la Figura 1.1 de l'Annex a un habitatge unifamiliar el consum d'aigua calenta sanitària a la temperatura de 60°C és de 28 litres/dia·persona. El nombre de persones, però, depèn dels dormitoris que tingui aquest habitatge. Aquesta relació queda representada a la Figura 6.1.

Tabla 4.2. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Figura 6.1 Nombre de personas segons dormitoris operatius. Font: [11]

En el cas a estudiar, hi viuen 2 adults i una nena, i per tant es consideren 3 persones. Tot i que el nombre de dormitoris és de 3, n'hi ha un que està destinat a convidats i degut a que el seu ús serà esporàdic no es té en compte a l'hora de calcular l'ocupació de l'habitatge.

Per a saber el consum d'ACS mensual cal multiplicar el consum diari per persona pel nombre de dies de cada mes i per 3 tal com s'explica a l'Annex 1.1. Resultats a la Taula 6.1.

Mes	Consum ACS (l)
Gener	2604
Febrer	2352
Març	2604
Abril	2520
Maig	2604
Juny	2520
Juliol	2604
Agost	2604
Setembre	2520
Octubre	2604
Novembre	2520
Desembre	2604

Taula 6.1 Consum ACS mensual en litres.

Seguidament cal calcular quanta energia necessitem per a escalfar aquest volum d'aigua fins als 60°C.

Per a fer-ho, primer s'ha hagut de calcular quina és la temperatura de l'aigua de la xarxa en cada mes. Per a trobar-ho, s'ha seguit l'Equació 6.1.

$$T_{x\_municipi} = T_{x\_capital} - (0,00495 * \Delta h),$$

*Equació 6.1 Càlcul temperatura de l'aigua de la xarxa municipal.*

on  $\Delta h$  és la diferència d'alçada entre el municipi i la capital de referència.

Així doncs, la temperatura de l'aigua de la xarxa en cada mes es troba a la Taula 6.2.

Mes	Txarxa BCN (°C)	Txarxa Collsuspina (°C)
Gener	10,27	5,815
Febrer	10,72	6,265
Març	12,39	7,935
Abril	14,15	9,695
Maig	16,63	12,175
Juny	19,39	14,935
Juliol	20,91	16,455
Agost	22,44	17,985
Setembre	21,53	17,075
Octubre	19,07	14,615
Novembre	14,95	10,495
Desembre	11,7	7,245

*Taula 6.2 Temperatura mitjana mensual de l'aigua de la xarxa de Collsuspina.*

Amb el consum d'aigua calenta per mes i la temperatura de la xarxa d'aigua potable, per a obtenir l'energia necessària per a escalfar-la cal fer ús de l'Equació 6.2.

$$E = \frac{(60 - T_{x\_municipi}) * V * \rho * c_{H_2O}}{3600},$$

*Equació 6.2 Càlcul energia necessària destinada a l'escalfament de l'ACS.*

on:

- V : Consum mensual d'ACS. [l]
- $\rho$  : Densitat de l'aigua. [kg/l]

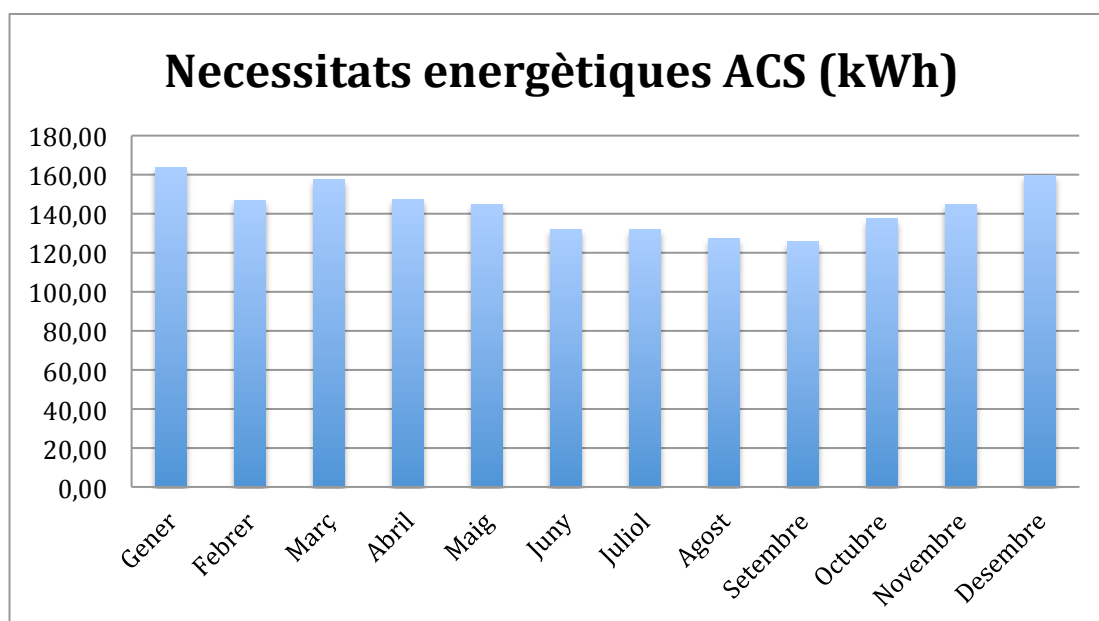
- $c_{H_2O}$  : Calor específic de l'aigua.  $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$
- $T_{x_{municipi}}$  : Temperatura de la xarxa d'aigua potable de Collsuspina.  $[^{\circ}C]$
- $E$  : Energia necessària. [kWh]

A l'Annex 1.1 es pot veure un resum dels càlculs.

Finalment, s'obtenen els resultats representats a la Taula 6.3 i a la Figura 6.2.

Mes	Necessitats Energètiques (kWh)
Gener	163,91
Febrer	146,82
Març	157,50
Abril	147,26
Maig	144,67
Juny	131,92
Juliol	131,72
Agost	127,09
Setembre	125,66
Octubre	137,29
Novembre	144,92
Desembre	159,58

*Taula 6.3 Necessitats energètiques mensuals per a l'escalfament de l'ACS (en kWh)*



*Figura 6.2 Necessitats energètiques mensuals per a l'escalfament de l'ACS (en kWh)*

## 6.2. Càrrega tèrmica màxima i consum de la calefacció

Per a calcular el consum energètic degut a la calefacció s'han seguit els documents tècnics del RITE i el CTE.

Per a realitzar el càlcul de la càrrega tèrmica màxima d'hivern, l'associat al consum de la calefacció, es consideren les següents aportacions:

- Una càrrega tèrmica per transmissió a través dels tancaments, a la qual se li sumará un suplement per orientació del tancament.
- Una càrrega tèrmica per ventilació deguda a la renovació de l'aire del local.
- Finalment, a la càrrega tèrmica total se li afegirà un coeficient degut al suplement per interrupció del servei.

Ja amb la càrrega màxima d'hivern, per a l'estimació de la demanda energètica anual associada a la calefacció el més indicat seria fer-ho mitjançant un programa de càlcul horari que realitzés una simulació energètica de l'habitatge. Tot i això i degut a la no disponibilitat d'aquest programa, es calcularà mitjançant un mètode aproximat com l'és el mètode dels graus dia.

### 6.2.1. Càrrega tèrmica màxima per transmissió de calor

Per a calcular la calor que es perd a través d'un tancament s'utilitza l'Equació 6.3.

$$Q_t = \sum_{i=1}^{n_t} A \times U \times (T_{int} - T_{ext})$$

*Equació 6.3 Càlcul calor perduda a través d'un tancament*

on:

- $A$  és la superfície del tancament per la qual hi travessa el flux de calor. [ $m^2$ ]
- $U$  és la transmitància tèrmica o coeficient de transmissió de calor dels tancaments, calculada segons el DB-HE 1. [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] [11]
- $T_{int}$  és la temperatura interior desitjada. [ $^{\circ}C$ ]
- $T_{ext}$  és la temperatura exterior de càlcul. [ $^{\circ}C$ ]
- $n_t$  és el nombre de tancaments totals.

Aquesta fórmula és la utilitzada per a calcular el flux de calor que es genera entre dos medis de temperatures diferents separats per un tancament. A la Figura 6.3 es pot veure representada la transmissió de calor a través d'un tancament compost pla amb una cambra d'aire que actua com a resistència.

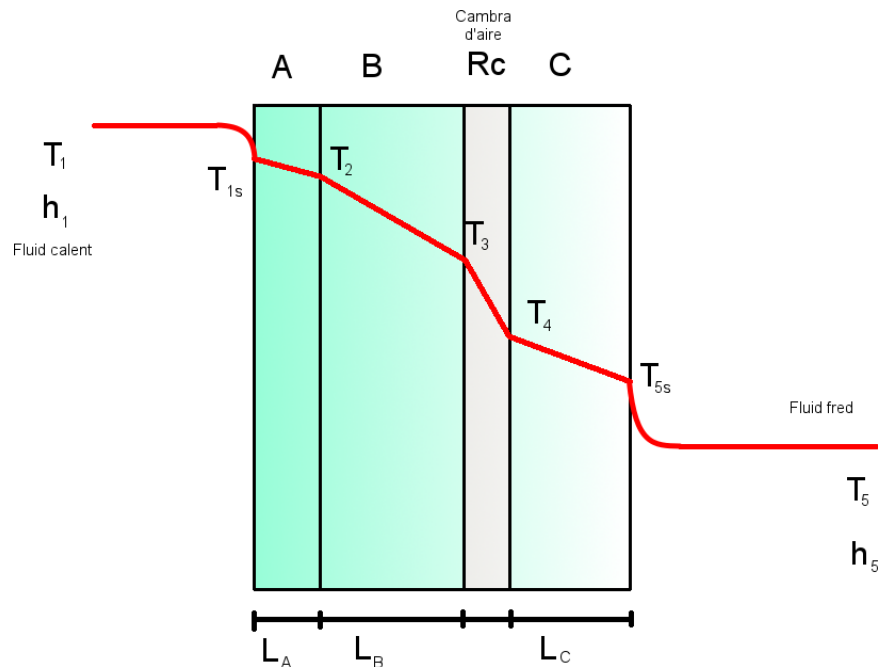


Figura 6.3 Representació transmissió tèrmica tancament compost. Font pròpia.

Primerament cal saber com trobar la temperatura interior i l'exterior a utilitzar en cada tancament. Per trobar la temperatura interior, només cal seguir el que dicta el RITE, exemplificat a la Figura 6.4.

Estació	Temperatura operativa	Humedad relativa
	�C	%
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Figura 6.4 Condicions interiors de disseny. Font [20].

Així doncs, respectant el RITE i partint del disseny de la família resident, s'agafen els 21 C com a temperatura referència per a les escalfades.

Pel que fa a la temperatura exterior, es troben tres casos diferents. Els tancaments a estudiar separen zones interiors escalfades amb:

- Zona exterior no escalfada: es considera com a  $T_{ext}$  la  $TS$  (99%), explicada a continuació.



- Zona interior no escalfada o no habitable: en aquest cas, una opció és prendre com a temperatura de l'espai una mitjana entre la temperatura interior i la temperatura exterior a l'habitatge. Tot i així, el DB-HE fa un càlcul més acurat en el que s'agafa la **TS (99%)** però s'introdueix un coeficient de reducció de temperatura (**b**) que, multiplicat per la transmitància tèrmica ( **$U_p$** ) de la partició interior en contacte amb l'espai no habitable en redueix les pèrdues. Aquest coeficient s'obté a través d'una taula en funció de la situació de l'aïllament tèrmic, del grau de ventilació de l'espai i de la relació d'àrees entre l'espai habitable i l'espai no habitable. [13]

Així doncs, el valor de la transmitància tèrmica reduïda ve donat per l'Equació 6.4.

$$U = U_p \cdot b$$

*Equació 6.4 Càlcul transmitància tèrmica reduïda*

- Zona escalfada: si el tancament es troba entre dues zones escalfades es considera que  $T_{ext} = T_{int}$ , i per tant no hi ha flux de calor i no cal calcular-ne la transmitància ni l'àrea.

Per al càlcul de les càrregues tèrmiques màximes d'hivern en un habitatge familiar es considera la temperatura seca que garanteixi ser la menor en un 99% del temps al llarg de l'any. Aquesta temperatura es coneix com a la temperatura seca de la localitat amb un nivell de percentil anual del 99% segons la guia tècnica sobre les condicions climàtiques exteriors de projecte del *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía* (IDAE).[8]

Així doncs ja, els valors de les temperatures són els següents:

$$T_{int} = 21^{\circ}C$$

$$T_{ext} = TS(99\%) = -6,3^{\circ}C$$

La TS(99%) de Collsuspina es troba partint de la temperatura seca de Granollers, localitat on es troba una de les estacions meteorològiques contemplades per l'IDAE. Aquest mateix document indica que per a extrapolar la temperatura seca a una altra localitat cal escollir la ciutat més pròxima amb dades conegudes, en aquest cas, Granollers. Pel que fa a la temperatura seca, aquesta pateix una disminució d'1°C per cada 100m de diferència de cota (positiva) respecte a la ciutat de referència.

Per a trobar les àrees dels tancaments partirem dels plànols de la masia. A l'apartat 5.2 es pot consultar el plànol de la planta central, la qual coneixem que té una alçada de 2,35m.

En quant a les transmitàncies, per a un tancament format per un nombre  $n_i$  de làmines planes i paral·leles de diferents materials de conductivitat tèrmica  $\lambda_i$  i gruix  $e_i$ , amb

coeficients superficials de transmissió de la calor  $h_{int}$  i  $h_{ext}$ , el coeficient de transmissió de calor  $U$  ve donat per l'Equació 6.5.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{int}} + \sum_{i=1}^{n_l} \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{ext}}$$

*Equació 6.5 Càlcul coeficient de transmissió tèrmica tancament.*

Amb aquesta fórmula s'obtenen la transmitància de les façanes, sostre i terra que delimiten amb àrees no habitables o amb l'exterior. Seguidament cal trobar també el coeficient de les portes i finestres del local escalfat. Per a fer-ho es segueix les especificacions del document NBE-CT-79 (Normes Bàsiques d'Edificació) [14], que tot i estar actualment derogat a favor del CTE disposa d'una molt bona aproximació per al càlcul d'aquestes transmitàncies. Tots els càlculs realitzats es poden veure a l'Annex 1.2.1, quedant els resultats representats a la Taula 6.4 .

TANCAMENT	$U$ ( $W/m^2 \cdot K$ )
Façanes (interior – exterior)	1,65
Paret 0,5m (interior – pis dalt)	1,1
Paret 0,35m (interior – pis dalt)	1,29
Paret 0,1m (interior – pis dalt)	1,79
Paret 0,35m (interior – pis baix)	0,94
Paret 0,1m (interior – pis baix)	1,3
Sostre (interior – pis dalt)	0,99
Terra (interior – pis baix)	0,58
Porta 1 (interior – pis baix)	1,85
Porta 2 (interior – pis dalt)	2,7
Porta 3 (interior – exterior)	3,3
Finestres (interior – exterior)	3,1

*Taula 6.4 Coeficients de transmissió tèrmica dels tancaments de l'habitatge*

Tot i això, de la mateixa manera que s'introdueix un factor per a corregir la temperatura interior d'un espai no escalfat, cal introduir un coeficient que corregeixi les pèrdues de calor segons la orientació, ja que no és igual la temperatura exterior d'una façana on hi toca el sol que la temperatura d'una façana que es troba a la ombra. Aquest coeficient afegeix un suplement als resultats base, que acaba exercint també com un coeficient de seguretat.

- $C_o$ , coeficient d'orientació.
- Nord: 1,2 (suplement del 20%).
- Sud: 1 (no es veu afectat).

- Est-Oest: 1,1 (suplement del 10%).

Així doncs, finalment per a trobar la càrrega tèrmica màxima d'hivern s'ha d'utilitzar l'Equació 6.6 .

$$Q_t = \sum_{i=1}^n A \times U_i \times (T_{int} - T_{ext}) \times C_{0i}$$

*Equació 6.6 Càlcul càrrega tèrmica màxima d'hivern amb suplement per orientació.*

Després de realitzar els càlculs es troba que la càrrega tèrmica màxima d'hivern per pèrdues de transmissió és:

$$Q_t = 14558,39 \text{ W}$$

### 6.2.2. Càrrega tèrmica màxima per ventilació

La càrrega tèrmica màxima deguda a la ventilació s'associa a les pèrdues de calor a causa de les renovacions d'aire a l'interior del local mínimes estipulades pel CTE en el document DB-HS 3 per a mantenir unes condicions sanitàries òptimes a l'habitatge. Aquest document considera que la ventilació es pot produir de manera forçada, al obrir les finestres, i de manera espontània, degut a les infiltracions d'aire a través de les escletxes. [12]

Les pèrdues màximes per renovació d'aire a cada local es calculen mitjançant l'Equació 6.7.

$$Q_{v\_local} = n_r \cdot V \cdot \rho \cdot c_e \cdot (T_{int} - T_{ext})$$

*Equació 6.7 Càlcul pèrdues màximes per renovació d'aire*

Sent:

- $n_r$ : Nombre de renovacions d'aire en el local per hora.  $[\frac{\text{renovacions}}{h} \text{ o } h^{-1}]$
- $V$ : Volum del local.  $[m^3]$
- $\rho$ : Densitat de l'aire a 20°C i 1atm, de  $1,29 \frac{kg}{m^3}$ .
- $c_e$ : Calor específic a pressió constant de l'aire a 20°C i 1atm, de  $0,278 \frac{Wh}{kg \cdot ^\circ C}$
- $T_{int}$ : Temperatura interior del local, segons el RITE de 21°C.
- $T_{ext}$ : Temperatura exterior del local, temperatura seca TS(99%), de -6,3°C.

El nombre de renovacions d'aire per hora es defineix com a el cabal en  $m^3/h$  entre el volum del local en  $m^3$ . És per aquesta raó que les pèrdues màximes per renovació d'aire a cada local també es poden expressar en funció del cabal en comptes del nombre de renovacions i del volum. Tot i així, el terme de renovacions d'aire és interessant de calcular.

Així doncs, falta conèixer el volum de cada local i el nombre de renovacions d'aire per hora o, el que és el mateix, el cabal de ventilació màxim.

El DB-HS 3 del CTE estableix els cabals mínims de ventilació dels habitatges a partir dels quals trobarem el nombre de renovacions per hora. Aquest document considera que l'aire entra a l'habitatge per les habitacions i les sales d'estar i surt per els banys i cuina. Els cabals poden ser fixes segons el local o variables en funció del nombre d'ocupants o els  $m^2$  útil. Els cabals mínims exigits es poden veure a la Taula 6.5. [12]

Locals	Cabal de ventilació mínim exigít $q_v$ en l/s		
	Per ocupant	Per $m^2$ útil	Fixe
<b>Dormitoris</b>	5		
<b>Sales d'estar</b>	3		
<b>Banys</b>			15
<b>Cuines</b>		2	
<b>Passadissos</b>		0,7	

*Taula 6.5 Cabals de ventilació mínim exigits pel CTE. Font: [12]*

Per a conèixer el cabal de ventilació total cal, primerament, calcular el cabal mínim d'admissió d'aire i el cabal mínim d'extracció. El major dels dos serà el cabal de ventilació total, i caldrà afegir un cabal extra a les sales d'estar (en cas de que el cabal d'extracció sigui major) o en la cuina (en el cas oposat), ja que el cabal s'ha de conservar.

Els cabals d'admissió es poden veure a la Taula 6.6 mentre que els d'extracció es troben a la Taula 6.7.

ADMISSIÓ	Persones	Cabal/persona	Cabal (l/s)
<b>Dorm 1</b>	2	5	10
<b>Dorm 2</b>	1	5	5
<b>Dorm 3</b>	0	5	0
<b>Despatx</b>	3	3	9
<b>Sala gran</b>	3	3	9
<b>Sala petita</b>	3	3	9

<b>TOTAL</b>	<b>42</b>
--------------	-----------

Taula 6.6 Cabals totals d'admissió.

EXTRACCIÓ	m <sup>2</sup>	Cabal/m <sup>2</sup>	Cabal (l/s)
Bany	14,88	0	15
Cuina	13,86	2	27,72
<b>TOTAL</b>			<b>42,72</b>

Taula 6.7 Cabals totals d'extracció.

El cabal d'extracció mínim, de 42,72 l/s, és lleugerament superior al cabal mínim d'admissió, de 42 l/s. Degut a la llei de conservació de la massa de l'aire, es sumarà la diferència (0,42 l/s) com a cabal d'admissió a la sala gran, ja que probablement és la que rebrà una ventilació superior.

Així doncs, es poden calcular les pèrdues per ventilació seguint l'Equació 6.7. És molt important apuntar que ni la cuina ni el bany influeixen en les pèrdues, ja que s'interpreta que aquests locals d'extracció reben l'aire ja tractat tèrmicament dels locals d'admissió. El mateix passa amb els passadissos, que es consideren una zona de circulació d'aire ja tractat. A la Taula 6.8 es poden veure les renovacions horàries de cada local i les pèrdues màximes, i a la Taula 1.11 de l'Annex 1.2.2 es pot veure com es calculen aquestes renovacions.

LOCAL	RENOV/H	PÈRDUES (W)
Dorm 1	1,16	352,45
Dorm 2	0,65	176,23
Dorm 3	0,00	0,00
Despatx	0,92	317,21
Sala gran	0,44	342,58
Sala petita	0,80	317,21
Bany	1,54	0,00
Cuina	3,06	0,00
Passadissos	1,07	0,00
		<b>1505,67</b>

Taula 6.8 Renovacions horàries i pèrdues màximes per ventilació.

És important veure que els resultats són orientatius, ja que és impossible que un dormitori, per molt que sigui de convidats, no renovi el seu aire. Tot i això, la ventilació calculada segons el CTE-HS 3, el qual es remet al RITE 2007, acostuma a ser força fiable. [12]

Les pèrdues màximes per ventilació de tot l'habitatge seran de:

$$Q_v = 1505,67 \text{ W.}$$

### 6.2.3. Estimació de la demanda energètica

Seguidament cal, a partir de les pèrdues màximes, realitzar una estimació del consum energètic mensual destinat a la calefacció.

Primer de tot s'introdueix un nou coeficient de seguretat, anomenat d'intermitència, que representa el percentatge d'increment sobre la càrrega tèrmica que produeixen les parades programades del sistema de calefacció (amb la conseqüent inèrcia tèrmica i el retard fins a arribar a la temperatura desitjada). Aquest coeficient  $C_i$  equival a 1,1 i té en consideració també una parada nocturna del sistema.

Les pèrdues màximes totals són de  $Q_T = 16064,06 \text{ W}$ , i s'entenen com a la suma de les pèrdues per transmissió i ventilació.

Per a l'estimació de la demanda energètica anual de la calefacció el més indicat és utilitzar un programa de càlcul horari que realitzi una simulació energètica de l'edifici, però tractant-se d'una masia antiga i fora de l'estàndard inclús amb un programa així seria complicat aconseguir una estimació molt acurada.

Així doncs, per a realitzar un càlcul aproximat de la demanda energètica s'utilitzarà el mètode dels graus-dia per a calefacció (Heating degree day, HDD).

Els graus-dia es poden utilitzar tant per a calcular la demanda energètica de calefacció com de refrigeració. En aquest cas, es fa ús dels HDD amb una temperatura base de  $15^\circ\text{C}$ , ja que és la fixada per la norma UNE EN 100002 per a disseny de sistemes de calefacció [21]. Aquest mètode consisteix en realitzar la suma de les diferències entre la temperatura base i la temperatura exterior mitja diària, sempre que aquesta sigui inferior a la referència. A la Figura 6.5 queda representat el mètode.

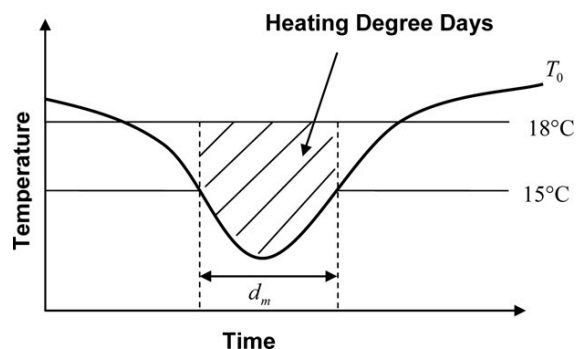


Figura 6.5 Mètode Graus-Dia (HDD). Font: [7]

Per a calcular els graus dia de la localització s'utilitza l'eina disponible a la web [www.degreedays.net](http://www.degreedays.net), que ofereix la possibilitat d'obtenir els graus dies (de calefacció o refrigeració) en Celsius o Fahrenheit, amb qualsevol temperatura base i amb el període

temporal que es prefereixi. Només cal introduir una estació meteorològica de referència per a que realitzi el càlcul. En aquest cas es seleccionarà la de Moià, ja que és la que es troba més a prop. Cal apuntar que el programa, sense la versió extensa, només és capaç de cobrir les dades dels últims 36 mesos, el qual es considera correcte per a realitzar un estudi aproximat. Les dades obtingudes es poden veure a l'Annex 1.2.3. La mitjana mensuals dels HDD obtinguda amb temperatura base de 15°C queda representada a la Taula 6.9.

	HDD
<b>GENER</b>	323
<b>FEBRER</b>	251
<b>MARÇ</b>	204
<b>ABRIL</b>	135
<b>MAIG</b>	70
<b>JUNY</b>	14
<b>JULIOL</b>	3
<b>AGOST</b>	2
<b>SETEMBRE</b>	17
<b>OCTUBRE</b>	60
<b>NOVEMBRE</b>	166
<b>DESEMBRE</b>	287

*Taula 6.9 Mitjana mensual HDD (15°C com a base)*

Un cop coneguts els HDD de cada mes, cal afegir una última consideració que es té en compte per a calcular la demanda energètica mensual. Es considera que l'habitatge, en règim normal, s'escalfa només des de les 06:00h a les 00:00h, és a dir, la calefacció funciona durant 18h per a tal d'estalviar en les hores nocturnes on només s'utilitzen les habitacions. En aquest instant, per això, cal introduir el concepte del coeficient de reescalfament, ja que un cop es torna a posar en marxa la calefacció tot el local està refredat i per a tornar-lo a escalfar es necessita un suplement energètic. El coeficient de reescalfament,  $c_r$ , es considera d'1,1.

Així doncs ja es pot procedir a calcular el consum energètic mensual (en kWh) segons el mètode de graus-dia. Es segueix l'Equació 6.8.

$$DE_{cal} = \frac{Q_T \cdot HDD \cdot h_{cal}}{1000 \cdot (t_{base} - t_{min})} \cdot c_r$$

*Equació 6.8 Equació demanda energètica mensual en kWh. Mètode graus-dia.*

on:

- $Q_T$  : Pèrdues totals màximes. [W]

- $HDD$  : Graus-dia mensuals. [ $^{\circ}C$ ]
- $h_{cal}$  : Hores de funcionament de la calefacció (18h). [h]
- $t_{base}$  : Temperatura referència dels graus-dia ( $18^{\circ}C$ ). [ $^{\circ}C$ ]
- $t_{min}$  : Temperatura mínima exterior ( $TS(99\%) = -6,3^{\circ}C$ ). [ $^{\circ}C$ ]
- $c_r$  : Coeficient de reescalfament. (1,1).

Els resultats obtinguts es troben a la Taula 6.10.

Mes	Consum (kWh)	Consum (kJ)
<b>Gener</b>	4227,82	15220,16
<b>Febrer</b>	3285,40	11827,43
<b>Març</b>	2670,20	9612,73
<b>Abril</b>	1767,05	6361,37
<b>Maig</b>	916,25	3298,49
<b>Juny</b>	183,25	659,70
<b>Juliol</b>	39,27	141,36
<b>Agost</b>	26,18	94,24
<b>Setembre</b>	222,52	801,06
<b>Octubre</b>	785,35	2827,27
<b>Novembre</b>	2172,81	7822,13
<b>Desembre</b>	3756,61	13523,80

*Taula 6.10 Demanda energètica mensual de calefacció.*

#### 6.2.4. Comparació consum teòric amb consum real

Aquest punt consisteix en realitzar una comparació entre la demanda energètica estimada i el consum real de l'habitatge durant l'hivern del 2016-2017. Segons la família resident a l'Espinoi, s'ha consumit 4000kg de pellets en calefacció entre els mesos d'Octubre i Maig, amb un consum més accentuat entre Desembre i Febrer.

Així doncs, primerament cal calcular quanta energia es produeix amb 4000kg, que serà el total que es consumirà en calefacció anualment. Per a fer-ho, cal abans conèixer el poder calorífic inferior (PCI) dels pellets, que és de  $5,23 kWh/kg$ . La diferència entre el PCI i el PCS es pot veure a l'Annex 1.2.4. [17]

Altrament, sabent que la caldera té un rendiment aproximat del 90%, es pot conèixer l'energia produïda anualment amb l'Equació 6.9.



$$E_u = PCI * m * \eta ,$$

*Equació 6.9 Energia útil caldera pellets*

on:

- $E_u$  : Energia útil destinada anualment a la calefacció de l'habitatge. [kWh]
- $PCI$  : Poder calorífic inferior del combustible, en el nostre cas els pellets. [kWh/kg]
- $m$  : Massa de combustible. [kg]
- $\eta$  : rendiment de la caldera.

Així doncs, l'energia útil destinada a la calefacció anualment és de 18828 kWh (67780,8 kJ) .

Seguidament cal distribuir aquesta energia entre els diferents mesos en els que la calefacció està en ús. Per a fer-ho, s'utilitzen els graus-dia obtinguts en l'apartat anterior (però només de l'octubre al maig), tot i que d'una manera diferent i amb l'únic objectiu d'aconseguir una distribució del consum força realista.

Així doncs, la demanda energètica mensual per a cada mes  $i$  es trobarà amb l'Equació 6.10.

$$DE_{cal\_real_i} = \frac{E_{anual}}{\sum_i HDD_i} \cdot HDD_i$$

*Equació 6.10 Demanda energètica mensual mètode graus-dia. Valors experimentals.*

- $E_{anual}$  : Energia útil destinada a la calefacció anualment. [kWh]
- $HDD_i$  : Graus-dia calefacció mensuals per a cada mes  $i$ . [°C]

Seguint el procediment explicat anteriorment, s'han obtingut els següents representats a la Taula 6.11.

Mes	Energia necessària (kWh)
Octubre	755,13
Novembre	2089,20
Desembre	3612,06
Gener	4065,14
Febrer	3158,98
Març	2567,45
Abril	1699,05
Maig	880,99

*Taula 6.11 Consum energètic real.*

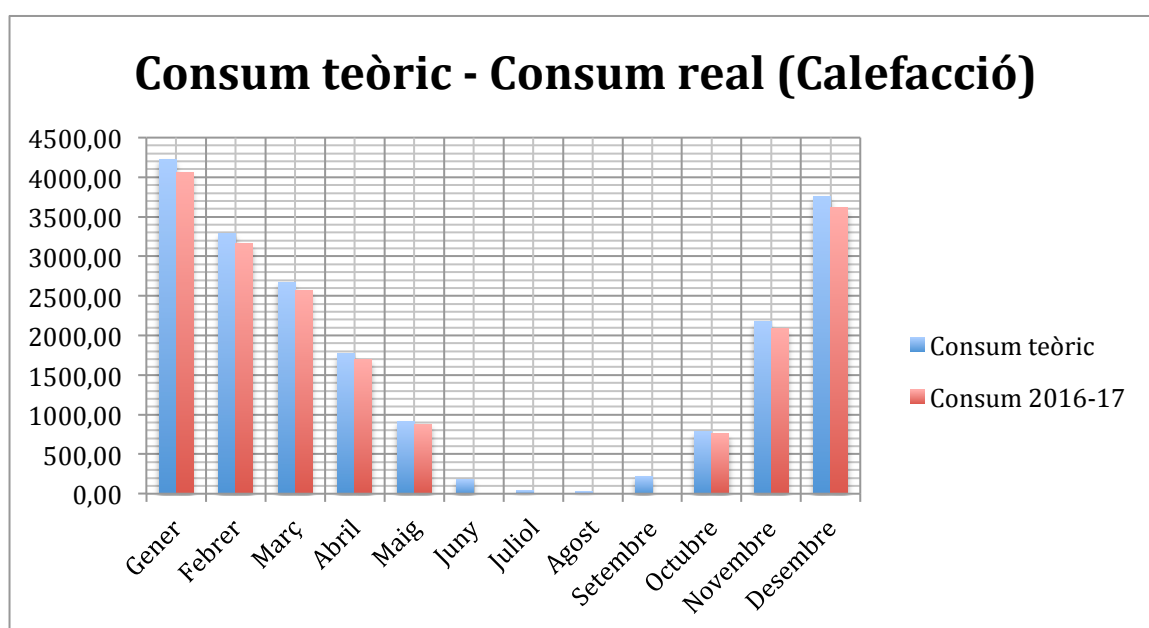
Així doncs, val la pena posar en un mateix gràfic de barres el consum calculat teòricament amb reglaments i documents tècnics i la demanda energètica real per a veure fins a quin punt es pot considerar com a bo el resultat teòric:

A la Taula 6.12 s'hi troben els resultats dels dos casos i a continuació, a la Figura 6.6 se'n pot veure una comparació gràfica.

En aquestes s'hi pot apreciar que el càlcul teòric s'aproxima molt al consum real base que se'ns ha fet arribar. Cal apreciar que el consum real és quelcom puntual i cada any pot variar, així que tant podria ser superior al teòric com inferior.

Mes	Consum teòric (kWh)	Consum real (kWh)
<b>Gener</b>	4227,82	4065,14
<b>Febrer</b>	3285,40	3158,98
<b>Març</b>	2670,20	2567,45
<b>Abril</b>	1767,05	1699,05
<b>Maig</b>	916,25	880,99
<b>Juny</b>	183,25	
<b>Juliol</b>	39,27	
<b>Agost</b>	26,18	
<b>Setembre</b>	222,52	
<b>Octubre</b>	785,35	755,13
<b>Novembre</b>	2172,81	2089,20
<b>Desembre</b>	3756,61	3612,06

*Taula 6.12 Consum teòric contra consum real (Calefacció)*



*Figura 6.6 Consum teòric contra consum real (Calefacció)*

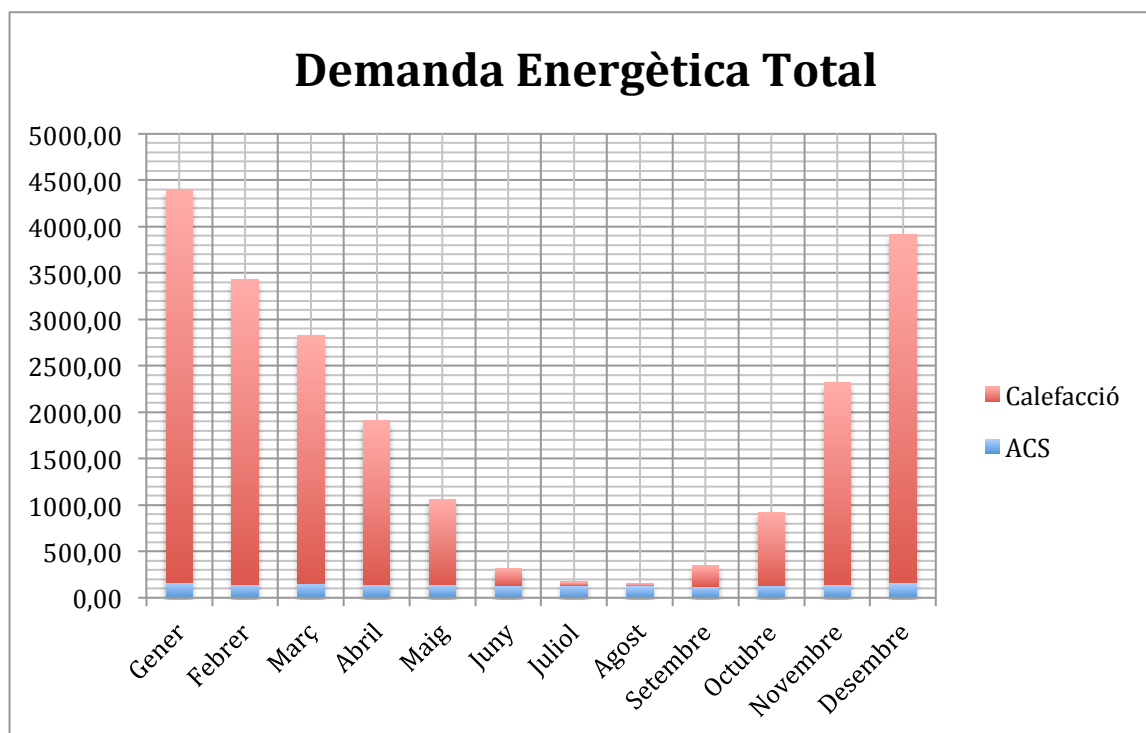
### 6.3. Energia necessària total

Així doncs, per a seguir realitzant el disseny s'utilitzaran les dades obtingudes a través de documents i reglaments tècnics.

Sumant el consum d'ACS i el de calefacció podem fàcilment trobar l'energia necessària total necessària. La Taula 6.13 i la Figura 6.7 recullen els resultats totals.

	ACS (kWh)	Calefacció (kWh)	Total (kWh)
<b>Gener</b>	163,91	4227,82	<b>4391,73</b>
<b>Febrer</b>	146,82	3285,40	<b>3432,22</b>
<b>Març</b>	157,50	2670,20	<b>2827,70</b>
<b>Abril</b>	147,26	1767,05	<b>1914,31</b>
<b>Maig</b>	144,67	916,25	<b>1060,92</b>
<b>Juny</b>	131,92	183,25	<b>315,17</b>
<b>Juliol</b>	131,72	39,27	<b>170,99</b>
<b>Agost</b>	127,09	26,18	<b>153,27</b>
<b>Setembre</b>	125,66	222,52	<b>348,18</b>
<b>Octubre</b>	137,29	785,35	<b>922,64</b>
<b>Novembre</b>	144,92	2172,81	<b>2317,73</b>
<b>Desembre</b>	159,58	3756,61	<b>3916,19</b>

*Taula 6.13 Demanda energètica total*



*Figura 6.7 Demanda energètica total*

Es pot veure amb facilitat que el consum energètic de calefacció solar és clarament superior al de l'ACS, és per aquesta raó que molt probablement la solució final passarà per abastir el 100% de l'aigua calenta sanitària i una part de la calefacció. No es podrà prescindir de la caldera de pellets però es buscarà reduir-ne el consum i que sigui així econòmicament viable.

D'altra banda, la Figura 6.7 convida a pensar que seria rentable buscar una manera d'aconseguir uns consums totals bastant constants al llarg de l'any. Per exemple, si mai es decidís disposar d'una piscina activa durant l'estiu, aquesta seria una solució molt interessant, ja que l'aigua calenta produïda en aquests mesos es podria destinar a climatitzar-la.

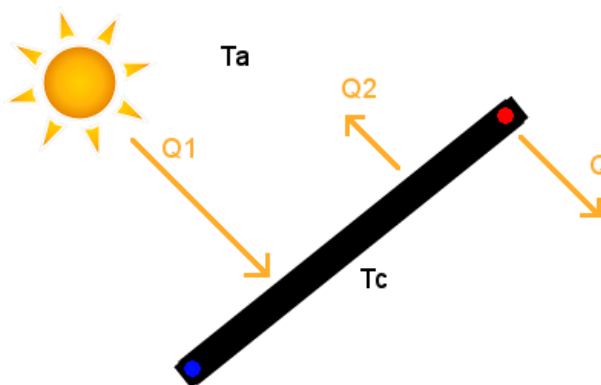
## 7. Sistema de captació

El sistema de captació és l'encarregat de transformar la radiació solar en energia útil. Per a dissenyar aquest sistema, es treballarà amb el sistema de captació més comú, el dels col·lectors plans, famosos per la seva senzillesa, durabilitat i baix cost de fabricació. Tot i això, més endavant es comentaran altres solucions innovadores que es poden trobar al mercat.

### 7.1. Col·lectors solars tèrmics

#### 7.1.1. Funcionament i balanç energètic

Els col·lectors solars tèrmics transformen la radiació solar en energia útil per als habitatges. El seu funcionament es basa en l'efecte hivernacle. La radiació solar travessa una coberta transparent i incideix sobre un absorbidor, on una part d'aquesta energia es transfereix pel seu aprofitament.



Seguint l'esquema representat a la Figura 7.1 es pot apreciar que  $Q_1 = Q + Q_2$ , on  $Q_1$  és l'energia incident total (corresponent a la radiació directa, a la difusa i a la d'albedo juntes) i es calcula com a la radiació solar  $I$  per la superfície captadora  $S$ ,  $Q_2$  és l'energia perduda per dissipació a l'exterior i  $Q$  és l'energia útil.

Figura 7.1 Esquema energètic col·lector solar tèrmic

El rendiment del col·lector solar serà calculat a partir de l'Equació 7.1.

$$\eta = \frac{Q}{Q_1} = \frac{Q}{S \cdot I}$$

Equació 7.1 Rendiment col·lector solar

D'altra banda, es coneix també que l'energia útil  $Q$  es pot expressar amb l'Equació 7.2.

$$Q = S(I(\tau\alpha) - U(T_c - T_a))$$

Equació 7.2 Energia útil col·lector

Sent  $\tau$  la transmissió de la coberta transparent,  $\alpha$  l'absorbència de la placa absorbidora,  $T_c$  la temperatura mitja de la placa absorbidora,  $T_a$  la temperatura ambient i  $U$  el coeficient

global de pèrdues.

La temperatura de la placa absorbidora és difícil de calcular, en canvi conèixer la temperatura mitja del fluid  $T_m$  és molt més senzill, mesurant-ne la temperatura a l'entrada i a la sortida del col·lector. Per a poder substituir  $T_c$  per  $T_m$ , per això, cal introduir un coeficient de correcció  $F_R$ , ja que aquestes no són iguals ni en el millor dels absorbidors. Així doncs l'energia útil passa a ser representada per l'Equació 7.3 i el rendiment per l'Equació 7.4.

$$Q = S \cdot (F_R \cdot I \cdot (\tau\alpha) - U_L(T_m - T_a)), \text{ sent } U_L = F_R \cdot U.$$

*Equació 7.3 Energia útil captador solar tèrmic en funció temperatura fluid*

$$\eta = F_R(\tau\alpha) - U_L \frac{(T_m - T_a)}{I}$$

*Equació 7.4 Equació lineal de rendiment captador solar tèrmic*

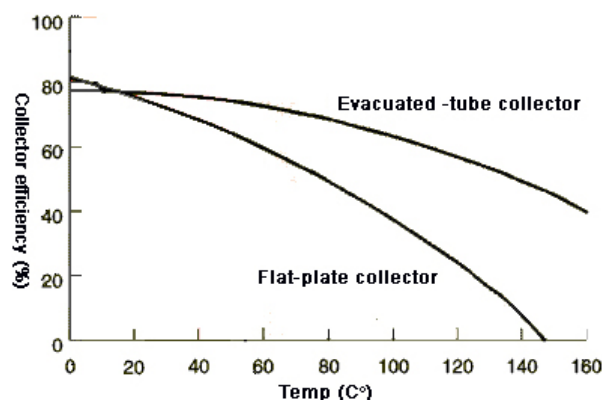
Es pot veure doncs, que el rendiment es pot entendre com si fos una recta, on  $F_R(\tau\alpha)$  n'és l'ordenada en l'origen (d'ara endavant  $F_R(\tau\alpha) = \eta_0$ ),  $U_L$  n'és la pendent (d'ara endavant  $U_L = K_1$ ) i on  $\frac{(T_m - T_a)}{I}$  n'és la variable d'abscisses (d'ara endavant  $T_m - T_a = \Delta T$ ).

Aquesta relació lineal, per això, només es compleix quan les temperatures en l'absorbidor són baixes. Al augmentar les temperatures, cal introduir un terme quadràtic per a reduir-ne l'error, quedant el rendiment tal com s'indica a l'Equació 7.5.

$$\eta = \eta_0 - K_1 \cdot \frac{\Delta T}{I} - K_2 \cdot \frac{\Delta T^2}{I}$$

*Equació 7.5 Equació quadràtica de rendiment captador solar tèrmic*

Així doncs s'obté una corba com la de la Figura 7.2 (on es comparen dos tipus de col·lectors). A l'Annex 2.1 es resumeixen les dades facilitades pel fabricant del captador.



*Figura 7.2 Rendiment captador solar pla i heat-pipes*

### 7.1.2. El captador pla

El col·lector solar pla convencional és el d'ús més estès per la seva senzillesa, durabilitat i costos de fabricació.

Els principals elements d'un col·lector pla són la carcassa, el vidre solar, l'absorbidor que es troba sobre la xarxa hidràulica i l'aïllament, localitzat a sota de tot.

Pel que fa al vidre solar, es busca augmentar la transmissió reduint-ne l'índex de reflexió, per així millorar-ne el rendiment.

Seguint el principi del cos negre, que diu bàsicament que una superfície negra i mate absorbeix millor les radiacions que qualsevol altra, l'absorbidor de la placa solar, localitzat sobre la xarxa hidràulica transportadora del fluid caloportador, és enfosquit mitjançant pintures calòriques o altres tractaments.

D'altra banda cal buscar un bon aïllament del captador respecte a l'exterior, per així minimitzar les pèrdues de calor de l'interior de la placa i, anàlogament, incrementar el rendiment del nostre sistema.

Els captadors solars plans són coneguts amb aquest nom degut a que presenta plana la superfície d'absorció. En general, els rendiments són baixos i les temperatures produïdes inferiors als 100°C, però cobreixen les necessitats domèstiques i són els més utilitzats en aquests casos pel seu fàcil muntatge, per la seva concepció modular i pel seu preu relativament baix.

## 7.2. Consideracions prèvies

### 7.2.1. Contribució solar mínima per ACS segons el CTE

Per a poder dissenyar una instal·lació amb totes les garanties, és necessari conèixer prèviament i amb el millor detall possible el perfil de consum. Un cop conegut, el CTE marca uns mínims que han de complir-se i, tot i que els ajuntaments municipals poden decidir augmentar aquests valors, seran els que es faran servir de referència.

Aquesta contribució solar mínima anual s'entén com a la fracció entre els valors anuals de la energia solar aportada exigida i la demanda energètica anual i depèn de la zona de la localització de la instal·lació i de la demanda d'ACS.

La taula de la Figura 7.3 és la corresponent a un sistema d'energia solar recolzat per una

font energètica elèctrica, com passa en el cas d'estudi, en el que ja es disposa d'un termo elèctric i partim de que aquest serà el sistema auxiliar per a aigua calenta. En aquesta se'ns indica la contribució solar mínima anual exigida per a cobrir les necessitats d'ACS.

Demanda total de ACS del edifici (l/d)	Zona climàtica				
	I	II	III	IV	V
50-1.000	50	60	70	70	70
1.000-2.000	50	63	70	70	70
2.000-3.000	50	66	70	70	70
3.000-4.000	51	69	70	70	70
4.000-5.000	58	70	70	70	70
5.000-6.000	62	70	70	70	70
> 6.000	70	70	70	70	70

*Figura 7.3 Contribució mínima anual d'ACS. Font: [11]*

Sabent que l'habitatge es troba a la zona climàtica III, és fàcil veure que, independentment del consum, la contribució mínima haurà de ser del 70%. Tot i això, aquesta dada seria important si es volgués realitzar una instal·lació solar únicament per ACS. En aquest cas, al buscar la cobertura de la demanda associada a la calefacció, l'ACS quedarà coberta sense cap mena de problema.

### 7.2.2. Pèrdues per orientació i inclinació

L'orientació i la inclinació dels captadors i les ombres que aquests poden rebre poden causar unes pèrdues enteses com a un percentatge de radiació solar que deixarà d'incidir en els captadors solars dissenyats respecte la radiació que incidiria sobre els mateixos captadors amb la orientació i inclinació òptimes i sense ombres. Prèviament al disseny d'una instal·lació solar cal tenir en compte aquestes possibles pèrdues i provar de reduir-les.

Per a calcular aquestes pèrdues cal tenir en compte els següents paràmetres:

- Angle d'inclinació ( $\beta$ ): És l'angle que forma la superfície dels captadors respecte el pla horitzontal. El seu valor és de  $0^\circ$  si la placa és paral·lela a aquest pla i de  $90^\circ$  si n'és perpendicular. La inclinació del sostre és de  $29^\circ$ , però és interessant que l'angle d'inclinació sigui superior per tal d'augmentar el rendiment del sistema a l'hivern, que és quan la demanda energètica és més gran. Així doncs, caldrà adquirir estructures d'alumini per tal de recolzar-hi els captadors. Es treballarà amb una estructura que augmenta  $25^\circ$  la inclinació, fàcil de trobar al mercat i prou econòmica, quedant així un angle d'inclinació de  $54^\circ$ , molt interessant per a augmentar el rendiment de la instal·lació a l'hivern.
- Angle azimutal ( $\alpha$ ): És l'angle entre la projecció sobre el pla horitzontal de la normal de la superfície de captació i el meridià del lloc, és a dir, l'angle d'orientació de la superfície on es col·locaran els captadors respecte el sud. Aquest pren  $0^\circ$  quan l'orientació és cap al sud,  $90^\circ$  quan és cap al oest i  $-90^\circ$  quan és cap al est. En el



nostre cas l'orientació és de  $16^\circ$ . A la Figura 7.4 se'n pot veure la representació gràfica.

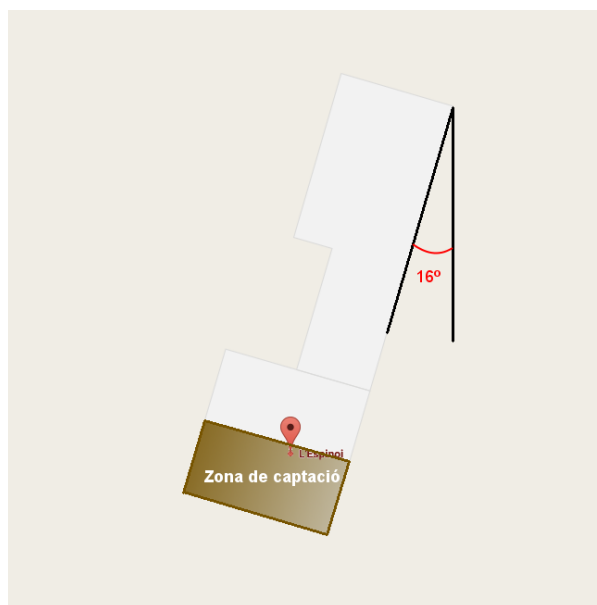


Figura 7.4 Planta del mas Espinó. Angle azimutal. Font pròpia

Aquests dos angles contribueixen en unes pèrdues que s'expressen com a un coeficient de reducció per orientació i inclinació de la irradiació rebuda pel captador solar i s'expressa en tant per ú i s'utilitza per a realitzar el predimensionat de la instal·lació. Un captador orientat cap al sud i inclinat amb un angle igual a la latitud de la localització tindrà un coeficient  $\alpha = 1$ . Per a trobar aquest coeficient en altres casos, cal utilitzar l'àbac de la Figura 7.5.

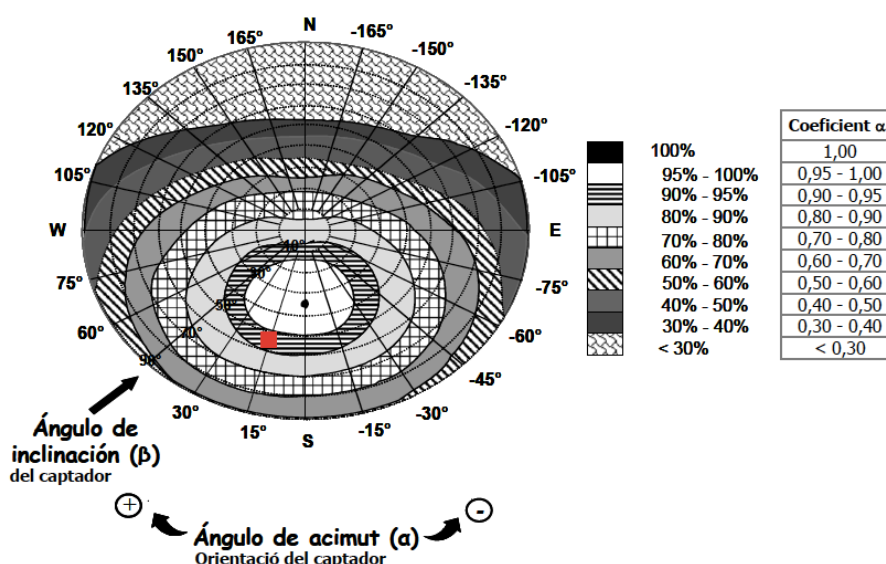


Figura 7.5 Àbac coeficient de reducció de la irradiació rebuda per orientació i inclinació. Punt vermell: cas d'estudi.

En el cas d'estudi es té un angle azimuth aproximat de  $15^\circ$  i una inclinació aproximada de  $55^\circ$ .

Es veu doncs, com el coeficient de reducció  $\alpha$  es troba entre 0,9 i 0,95, el que equival a dir que es treballa amb unes pèrdues d'entre el 5 i el 10%. Es pren  $\alpha = 0,9$ .

### 7.2.3. Pèrdues per ombres

Vistes les pèrdues per orientació i inclinació ja només falta tenir en compte les possibles pèrdues per zones d'ombres que es poden produir sobre els captadors al llarg del dia.

Aquestes ombres són generalment produïdes per altres edificis o vegetació. En el cas d'estudi els edificis no preocupen ja que la masia es troba aïllada i la teulada on s'instal·larien els captadors no es troba amb cap element que la pugui cobrir. En quant a la vegetació, actualment la zona de davant de la teulada és una esplanada i no hi ha cap arbre que li pugui fer ombra. Cal comentar, però, que un cop realitzada la instal·lació caldrà vigilar que no creixi vegetació que pugui produir ombres en un futur.

Així doncs, només caldrà vigilar amb les ombres que poden causar els captadors solars un sobre els altres. Per a determinar la distància mínima entre files de captadors s'utilitzarà la Equació 7.6.

$$d = k \cdot h$$

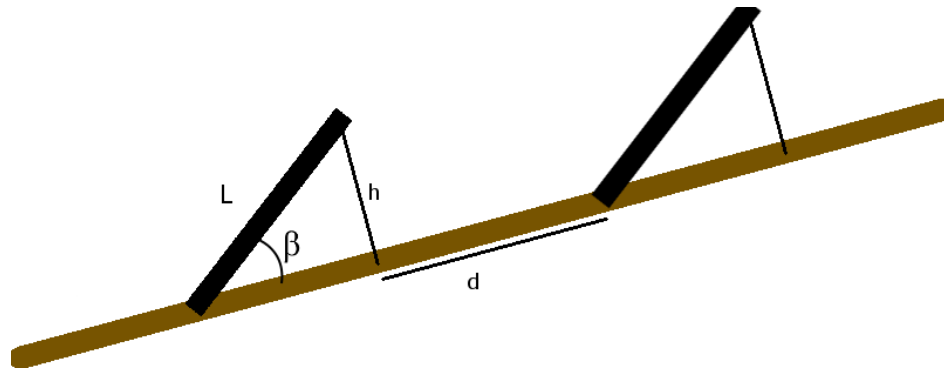
*Equació 7.6 Distància mínima entre files de captadors*

on:

- $d$  : Separació entre files de captadors.
- $h$  : Altura del captador.  $h = L \cdot \sin\beta$ , on  $\beta$  és l'angle d'inclinació del captador el pla del sostre i  $L$  és la longitud del captador.
- $k$  : Coeficient en funció de la inclinació dels captadors. En el cas d'estudi  $k = 1,99$ .

Coneixent que  $\beta = 25^\circ$  i  $L \approx 2,2 \text{ m}$ ,  $h = 0,845 \text{ m}$  i per tant,  $d = 1,85 \text{ m}$ . Per a treballar amb seguretat, es farà que aquesta distància de separació sigui de 2 m.

Seguidament, a la Figura 7.6 es pot veure a que correspon cada variable necessària per a calcular la distància entre files de captadors sobre un sostre inclinat, com és en el cas d'estudi.



*Figura 7.6 Distància entre captadors. Font pròpia.*

Tot i això, primerament caldrà veure si existeix la possibilitat de posar tots els captadors amb una sola fila o cal posar més d'una fila de captadors.

Així doncs, per a realitzar un primer predimensionament s'utilitzarà un coeficient  $\delta = 1$  que correspon a unes pèrdues per ombres del 0%.

#### 7.2.4. Radiació mensual

En projecte d'aquest caire, per a conèixer la radiació mensual es confia en els recursos que ofereix el *Joint Research Centre* de la Comissió Europea, en concret s'ha utilitzat un mapa interactiu de l'anomenat *Photovoltaic Geographical Information System* (PVGIS).

Mitjançant aquest recurs es poden obtenir les dades de radiació solar global diària sobre superfícies inclinades amb diferents orientacions i, si fos el cas, percentatge de pèrdues. A partir d'aquestes es pot calcular el valor mitjà anual.

### 7.3. Predimensionament de l'àrea de captació

L'àrea de captació requerida per la instal·lació solar està determinada per la demanda energètica a abastir, la radiació solar rebuda i el rendiment i possibles pèrdues d'aquesta.

Per a calcular aquesta àrea es segueix l'Equació 7.7.

$$A_{captació} = \frac{Q_{solar}}{I \cdot r \cdot \alpha \cdot \delta}$$

*Equació 7.7 Predimensionat àrea captació*

Sent:

- $A_{captació}$  : Àrea útil dels captadors solars. [ $m^2$ ]

- $Q_{Solar}$  : L'aportació anual d'energia solar exigida. En aquest cas es prendran diferents percentatges de cobertura de la demanda total per a veure quina cobertura solar és la més adequada. [ $kWh/any$ ]
- $I$  : Valor de radiació solar òptima. S'obté realitzant la mitjana dels valors mensuals prenent la inclinació òptima del captador, que seria de  $38^\circ$ . [ $kWh/any \cdot m^2$ ]
- $r$  : Rendiment mig anual de la instal·lació. Depèn del rendiment dels captadors i de la resta dels components de la instal·lació. Es pot considerar un valor d'entre 0,3 i 0,5 per a instal·lacions amb captadors solars plans de baixa temperatura. Es pren com a valor 0,3.
- $\alpha$  : Coeficient de reducció per orientació i inclinació del captador.
- $\delta$  : Coeficient de reducció per ombres.

Així doncs, es tenen com a valors fixes:  $I = 1938,15 \frac{kWh}{any \cdot m^2}$ ;  $r = 0,3$ ;  $\alpha = 0,9$ ;  $\delta = 1$ .

Seguidament es calcularà l'àrea de captació en funció de la l'aportació anual d'energia exigida. A la Taula 7.1 es veuen els resultats.

Cobertura DE (%)	$Q_{Solar}$ ( $kWh/any$ )	$A_{captació}$ ( $m^2$ )
<b>Només ACS</b>	1718,34	3,28
<b>50</b>	10885,53	20,8
<b>70</b>	15239,74	29,12
<b>85</b>	18505,39	35,36
<b>100</b>	21771,05	41,6

*Taula 7.1 Àrea de captació segons cobertura desitjada*

Com que la superfície disponible de captació és aproximadament de  $100 m^2$  i la idea principal d'aquest estudi és dissenyar una instal·lació solar que cobreixi les necessitats d'ACS i calefacció al 100%, es prendrà una àrea de captació d'aproximadament  $40 m^2$  per a realitzar-ne el dimensionament.

Paral·lelament també s'estudiarà com canviaria la instal·lació si només es volgués satisfer la necessitat d'aigua calenta sanitària.

## 7.4. Dimensionament àrea captació.

### 7.4.1. Mètode de càlcul F-Chart

Per al dimensionament de les instal·lacions d'energia solar tèrmica és bastant comú aplicar el mètode de les corbes  $f$ , també conegut com a F-Chart, que permet realitzar el càlcul de la cobertura d'un sistema solar, és a dir, la contribució realitzada per l'energia solar en el total de les càrregues tèrmiques a cobrir i el seu rendiment mitjà en un llarg període de temps. [9][15]

Aquest mètode treballa amb estimacions mensuals, i per a desenvolupar-lo s'utilitzen mitjanes mensuals sobre dades meteorològiques com la irradiació i la temperatura ambient i característiques sobre els captadors plans que són donades pel fabricant.

Així doncs, prèviament a aplicar el mètode, cal conèixer la càrrega calorífica per a l'escalfament d'aigua destinada a la producció d'ACS o calefacció i la radiació solar incident en la superfície inclinada dels captadors i realitzar un predimensionat per a saber el nombre de captadors amb els que treballar.

El mètode de les corbes  $f$  segueix l'Equació 7.8:

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3$$

*Equació 7.8 Càlcul fracció solar mensual*

Sent:

- $f$ : Fracció solar
- $D_1$ : Relació entre energia absorbida per la placa del captador pla i la càrrega calorífica total durant un mes.
- $D_2$ : Relació entre pèrdues d'energia en el captador, per a una determinada temperatura, i la càrrega calorífica d'escalfament durant un mes.

Seguidament, doncs, per a calcular la cobertura solar total cal determinar els paràmetres  $D_1$  i  $D_2$ . Ho farem mitjançant l'Equació 7.9 i l'Equació 7.12.

Càlcul de  $D_1$ :

$$D_1 = \frac{\text{Energia absorbida pel captador}}{\text{Càrrega calorífica mensual}}$$

*Equació 7.9 Càlcul  $D_1$*

L'energia absorbida pel captador ve donada per l'Equació 7.10:

$$E_a = S_c \cdot F'_t(\tau\alpha) \cdot R_1 \cdot N$$

*Equació 7.10 Càlcul energia absorbida captador*

Essent:

- $S_c$ : Superfície del captador ( $m^2$ ).
- $F'_t(\tau\alpha)$ : Factor adimensional donat per l'Equació 7.11.

$$F'_t(\tau\alpha) = F_t(\tau\alpha)_n \cdot \left[ \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] \cdot \left( \frac{F'_t}{F_t} \right)$$

*Equació 7.11 Càlcul factor  $F'_t(\tau\alpha)$*

Sent:

- $F_t(\tau\alpha)_n$ : Factor d'eficiència òptica del captador, és a dir, ordenada a l'origen de la corba característica de la placa ( $\eta_0$ ).
- $\left[ \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right]$ : Modificador de l'angle d'incidència. En general es pren com a constant 0,96 en cas de superfície transparent senzilla o 0,94 en cas de superfície transparent doble.
- $F'_t/F_t$ : Factor de correcció del conjunt captador-intercanviador. Es recomana prendre el valor de 0,95.
- $R_1$ : Radiació diària mitja mensual incidents sobre la superfície de captació per unitat d'àrea ( $kJ/m^2$ ).
- $N$ : Nombre de dies del mes.

Càlcul de  $D_2$ :

$$D_2 = \frac{\text{Energia perduda pel captador}}{\text{Càrrega calorífica mensual}}$$

*Equació 7.12 Càlcul  $D_2$*

L'energia perduda pel captador ve donada per l'Equació 7.13:

$$E_p = S_c \cdot F'_t \cdot U_L \cdot (100 - T_{ext}) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2$$

*Equació 7.13 Energia perduda pel captador*

Essent:

- $S_c$ : Superfície del captador. [ $m^2$ ]
- $F'_t \cdot U_L = F_t \cdot U_L \cdot (F'_t/F_t)$   
Sent  $F_t \cdot U_L$  el pendent de la corba de característica del captador o el també anomenat coeficient global de pèrdues del captador ( $k_1$ ).
- $T_{ext}$ : Temperatura mitja mensual de la localització. [ $^{\circ}C$ ]
- $\Delta t$ : període de temps considerat. [s]
- $K_1$ : Factor de correcció per emmagatzemament que s'obté a partir de l'Equació 7.14. El mètode es va desenvolupar per a una capacitat d'acumulació de  $75 \text{ l/m}^2$ .

$$K_1 = \left[ V/75 \right]^{-0,25}$$

*Equació 7.14 Càlcul factor correcció  $K_1$*

$$37,5 < V < 300$$

- $K_2$ : Factor de correcció per consum d'ACS en cas de que la demanda d'ACS sigui superior al 20% de la demanda de calefacció. En el cas d'estudi s'utilitzarà només per al càlcul d'una instal·lació solar únicament per a ACS. El factor es troba mitjançant l'Equació 7.15.

$$K_2 = 11,6 + 1,18 \cdot T_{ACS} + 3,86 \cdot T_x - 2,32 \cdot T_{ext}/(100 - T_{ext})$$

*Equació 7.15 Càlcul factor de correcció  $K_2$*

Sent:

- $T_{ACS}$ : Temperatura de l'aigua calenta sanitària. [ $^{\circ}C$ ]
- $T_x$ : Temperatura de l'aigua de la xarxa d'aigua potable. [ $^{\circ}C$ ]
- $T_{ext}$ : Temperatura mitja mensual de la localització. [ $^{\circ}C$ ]

#### 7.4.2. Dimensionament amb productes de mercat

Per a procedir amb el dimensionament s'ha creat una fulla de càlcul a través de la qual, a partir de les dades meteorològiques i de les característiques dels captadors necessàries es pot saber la cobertura solar del sistema a dissenyar segons l'àrea de captació.

S'ha realitzat una recerca dels captadors solars al mercat espanyol i s'ha seleccionat el model SKR500 de Sonnenkraft, el FKT-2 de Junkers i el QR-D de Chromagen, els tres amb muntatge vertical ja que els rendiments són millors en aquests casos.

Cal comentar que la recerca no ha estat més extensa ja que actualment tots els panells plans són molt similars i el seu rendiment no varia massa en funció del preu, que depèn principalment dels materials usats en la construcció. S'ha triat tres panells que es troben al mercat amb preus i característiques lleugerament diferents. S'ha treballat amb els preus reals, sense tenir en compte possibles ofertes o descomptes.

Així doncs, és important conèixer certes característiques dels panells escollits. Aquestes es poden veure a la Taula 7.2. Per a veure més característiques consultar Annex 2.2.1.

Model	Preu (€)	Àrea captació ( $m^2$ )	Rendiment òptic (%)	Coefficient lineal de pèrdues tèrmiques ( $\frac{W}{m^2 K}$ )
<b>SKR500</b>	620,6	2,3	80,6	3,758
<b>FKT-2 S</b>	579,7	2,23	79,4	3,863
<b>QR-D</b>	503,3	1,77	69,6	4,821

*Taula 7.2 Característiques captadors solars tèrmics*

Amb aquests tres models s'ha omplert la fulla de càlcul per, a través del mètode F-Chart, veure quina cobertura solar ens dona cada model i realitzar una valoració per a triar una placa per a seguir amb els càlculs. A l'Annex 2.2.2 es poden veure els resultats que pren cada una de les plaques solars mensualment. Per a cada model s'ha realitzat el càlcul per a calefacció i, un cop trobat el captador òptim per a abastir les necessitats de calefacció s'ha realitzat el F-Chart per a l'ACS amb aquell model, ja que aconseguir aquesta cobertura no hauria de significar cap inconvenient.

Aplicant el mètode F-Chart s'obtenen els coeficients  $D_1$  i  $D_2$ , mitjançant els quals es calcula la fracció de la càrrega calorífica mensual aportada pel sistema d'energia solar tèrmica,  $f$ . Coneixent aquesta fracció, és fàcil trobar l'energia útil generada pel sistema  $Q_u$ , calculada a través de l'Equació 7.16.

$$Q_u = \text{MIN}\{f \cdot Q_a; Q_a\}$$

*Equació 7.16 Càlcul energia útil generada pel sistema*

on  $Q_a$  representa la càrrega calorífica mensual. És important apreciar, però, que durant els



mesos d'estiu la fracció solar serà superior a la unitat i per tant l'energia útil generada pel sistema serà superior a la càrrega calorífica mensual. Això és un clar indicador de que amb aquest sistema es perdrà molta energia.

Per a trobar la cobertura anual,  $CA$  (%), cal treballar amb l'energia útil aprofitada, és a dir, amb el màxim entre l'energia útil i la càrrega calorífica mensual. Per a trobar  $CA$  (%) es farà ús de l'Equació 7.17.

$$CA (\%) = \frac{\sum Q_u}{\sum Q_a} \cdot 100$$

*Equació 7.17 Càlcul cobertura anual (en tant per cent)*

Per a triar el model de captador adequat, es realitzarà una valoració segons la cobertura anual que ofereix cada una, el preu, i el nombre de panells necessaris. A la Taula 7.3 es poden apreciar les dades necessàries per a trobar el model més adequat per a una instal·lació únicament per a calefacció.

Model	Nombre captadors	Preu total captadors (€)	Cobertura anual (%)
<b>SKR500</b>	18	11170,8	82,65
<b>FKT-2</b>	18	10434,6	80,8
<b>QR-D</b>	23	11575,9	72,84

*Taula 7.3 Comparativa captadors segons preu total i cobertura anual*

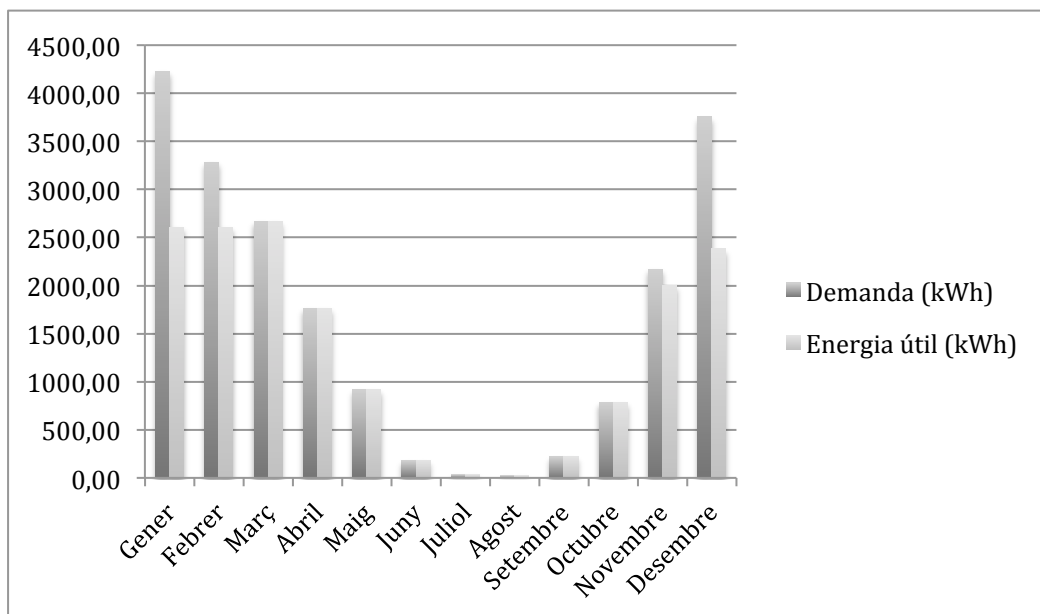
Dels tres models seleccionats és fàcil veure que el de Sonnenkraft i el de Junkers són els millors pel que fa a la relació qualitat preu. Es pot apreciar que tant la cobertura anual com el preu de la totalitat de captadors necessaris són molt similars.

Es decideix treballar amb el captador de Junkers, degut a que és una empresa del grup Bosch i ofereix molts altres components de la instal·lació.

A continuació, a la Figura 7.7 es pot veure gràficament la cobertura mensual, és a dir, la demanda de cada mes i l'energia produïda per la instal·lació solar aprofitada mitjançant el sistema de captació FKT-2 de Junkers.

Al llarg de tot el projecte s'ha considerat també la calor que hauria d'aportar la calefacció als dies freds de l'estiu, tot i que és fàcil assumir que durant l'estiu aquesta no s'utilitzaria. Com

a conseqüència, tota l'energia generada al llarg dels mesos d'estiu es perdria, i per tant durant un mínim de 4 mesos no s'estaria aprofitant la instal·lació.



*Figura 7.7 Cobertura mensual energia solar tèrmica*

Seguidament es valorarà realitzar una instal·lació per a ACS amb el mateix captador de Junkers, el F-Chart es pot veure a l'Annex 2.2.3.

En el cas del col·lector destinat a cobrir únicament el consum d'aigua calenta sanitat ria, es pot veure com amb un únic captador FKT-2 s'obtidria una cobertura anual del 92,66%.

En aquest cas, però, caldria assegurar-se que es compleixen els requisits demanats pel CTE:

- Contribució solar major o igual a la contribució solar mínima exigida.

Es compleix, ja que el mínim  s del 70% i amb una placa de Junkers es treballa amb una cobertura anual propera al 100%.

- L'energia produïda per la instal·lació en cap mes serà superior al 110%.

Per a comprovar aix  cal mirar que la fracció solar mensual sigui inferior a 1,1. El valor mensual de  $f$  queda reflectit a la Taula 7.4. Es pot afirmar que també el sistema també compleix aquesta especificació.

Mes	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre
<i>f</i>	0,79	0,9	1,02	0,96	1	1,05	1,08	1,1	1,05	0,96	0,81	0,76

*Taula 7.4 Fracció solar mensual instal·lació solar per a ACS*

Així doncs, en la instal·lació solar tèrmica dissenyada, es treballarà amb els col·lectors solars FKT-2 Excellence de Junkers destinant-ne 18 a la cobertura de la demanda energètica per calefacció els quals compartiran connexions, intercanviador i dipòsit acumulador i destinant-ne un al consum d'aigua calenta sanitària.

Això es fa així, primerament, per que es recomana que les instal·lacions vagin separades degut a les diferències de consum i, d'altra banda, en aquest estudi és molt interessant per acabar valorant si és rendible realitzar les dos instal·lacions juntes o limitar-se a la d'ACS.

Finalment, però, a l'apartat d'estudi econòmic també es plantejarà la possibilitat de destinar 18 captadors a l'abastiment d'aigua calenta sanitària i calefacció. En aquest cas es disposarà del circuit per a calefacció on se li afegirà també el dipòsit per a ACS.

## 8. Instal·lació solar

A part del sistema de captació, que és el que requereix un càlcul més acurat del seu dimensionament, una instal·lació solar necessita un dimensionament d'altres components i sistemes que s'expliquen a continuació.

### 8.1. Intercanviador de calor

El sistema d'intercanvi s'encarrega de transferir l'energia obtinguda pel sistema de captació a la instal·lació. Aquesta transferència la realitza el fluid portador del circuit primari i la rep el fluid de treball del circuit secundari sense que aquests es barregin.

A l'hora d'analitzar un intercanviador els paràmetres més importants són el rendiment i l'eficàcia d'intercanvi. Per a dimensionar el sistema, però, es parteix de la potència tèrmica que el sistema de captació és capaç de transmetre.

El rendiment es defineix com la relació entre energia obtinguda i introduïda. Les possibles diferències entre aquestes es deuen únicament a pèrdues tèrmiques, i en cap cas han de ser superiors al 5%.

Per una altra banda, l'eficàcia es defineix com la relació entre l'energia calorífica intercanviada per unitat de temps, i la màxima que teòricament es podria intercanviar. L'eficàcia pren un valor constant entre 0 i 1 per a un determinat cabal, però l'eficàcia exigida per a un sistema correctament dissenyat és superior a 0,7.

Hi ha dos tipus d'intercanviadors, els interiors o interacumuladors, que es troben integrats al sistema d'acumulació i els exteriors, destinats a volums elevats, ja que proporcionalment són més petits, econòmics i tenen un gran rendiment.

En el cas d'estudi els intercanviadors seran interiors de serpentin i aquests vindran inclosos en els acumuladors.

### 8.2. Acumuladors

El sistema d'acumulació és l'encarregat d'emmagatzemar l'energia que produeix el sistema de captació, indispensable en una instal·lació d'energia solar ja que el consum i l'obtenció d'energia no són simultanis. En el cas d'estudi es treballarà amb un sistema d'acumulació per a l'ACS i un per a la calefacció. Per a saber el volum d'aquests dipòsits es segueix

l'Equació 8.1. Cal afegir que com major sigui l'acumulador, millor serà el rendiment de la instal·lació. A la Taula 8.1 queden reflectides les característiques de cada sistema d'acumulació.

$$50 < \frac{V}{A_{captació}} < 180$$

*Equació 8.1 Equació predimensionament sistema d'acumulació. Font: [11]*

	$A_{captació}$ ( $m^2$ )	$V_{mín}$ ( $m^3$ )	$V_{màx}$ ( $m^3$ )	Acumulador escollit	Capacitat ( $m^3$ )	Tipus
<b>ACS</b>	2,23	111,5	401,4	S-ZB Solar	160	Acer vitrificat
<b>Calefacció</b>	40,14	2007	7225,2	MVV 3000 SB	3000	Acer vitrificat

*Taula 8.1 Elecció d'acumulador per a cada instal·lació*

Els components seleccionats pertanyen també a la casa Junkers. Les característiques d'aquests es poden veure a l'Annex 3.1.

Per al sistema d'acumulació de l'ACS s'ha seleccionat un dipòsit interacumulador de un serpentí S-ZB. Aquest dipòsit està fabricat amb acer vitrificat segons la norma DIN 4753 per tal de complir amb els requisits d'emmagatzemat d'aigua potable. Hi ha una àmplia gama de volums però s'ha seleccionat el de 160 litres ja que encaixa perfectament. Altrament, comentar que aquest sistema té la possibilitat d'allotjar una resistència elèctrica com a recolzament.

Per a la calefacció solar, si es busca una cobertura propera a la totalitat s'utilitzarà l'acumulador intercanviador MVV 3000 SB de Junkers, també d'acer vitrificat i amb una capacitat de 3000 litres. Aquest, però, anirà sense resistència elèctrica, ja que com a sistema auxiliar es tindrà la caldera de pellets.

### 8.3. Circuit primari

El circuit primari d'una instal·lació solar s'encarrega de transportar l'energia generada en els panells fins a l'acumulador. Quan la temperatura assolida als col·lectors és superior a la temperatura que hi ha en l'acumulador, la bomba de circulació s'activa per a cedir energia al sistema. El vas d'expansió té la funció d'admetre la dilatació que pugui tenir el circuit i els

sistemes de purga són els encarregats d'evitar la presència d'aire.

El circuit primari inclou des dels col·lectors i les seves connexions fins a l'acumulador, amb tots els elements intermediaris necessaris per al seu correcte funcionament.

### **8.3.1. Condicions de treball**

La complicació del disseny d'aquest circuit en una instal·lació solar és el fet de que tant la temperatura com la pressió varien segons les radiacions rebudes pels col·lectors. És per aquesta raó que es treballa amb un règim variable de pressió i temperatura.

Les condicions de treball màximes es poden assolir durant els períodes d'estancament, que és quan es produeix més energia de la que es necessita.

#### **➤ Temperatura**

En col·lectors plans es pot arribar a unes temperatures pròximes als 200°C, però cal procurar que tots els components que es troben entre la sortida dels col·lectors i l'entrada de l'acumulador resisteixin aquestes temperatures per a prevenir incidents un cop es reinicia la circulació del fluid.

A l'interior de l'acumulador la temperatura no supera els 95°C, pel que el fluid, un cop retorna cap als captadors té unes temperatures màximes d'uns 105°C amb pics puntuals de fins a 130°C. Els components que es troben entre la sortida de l'acumulador i l'entrada als captadors han de resistir aquestes condicions.

#### **➤ Pressió**

Quan s'arriba a temperatures pròximes als 200°C es produeix la vaporització total del fluid a l'interior dels captadors. Augmentant la pressió de treball de la instal·lació fins a uns 10-12 bar es podria evitar aquest problema, ja que la temperatura de vaporització seria inferior a l'assolida en cas d'estancament, però això suposaria que els components situats per sota dels captadors estarien exposats a aquesta pressió més l'estàtica, el que econòmicament suposaria una gran inversió.

L'alternativa econòmica, doncs, consisteix en suportar els augments de volum conseqüència d'aquesta vaporització mitjançant un vas d'expansió. No obstant això, caldrà tenir en compte també que el vapor pot danyar els conductes si no es vigila. Així doncs, és recomanable realitzar tasques de manteniment com cobrir o buidar part de la instal·lació durant l'estiu per evitar aquestes situacions.

### 8.3.2. Conduccions

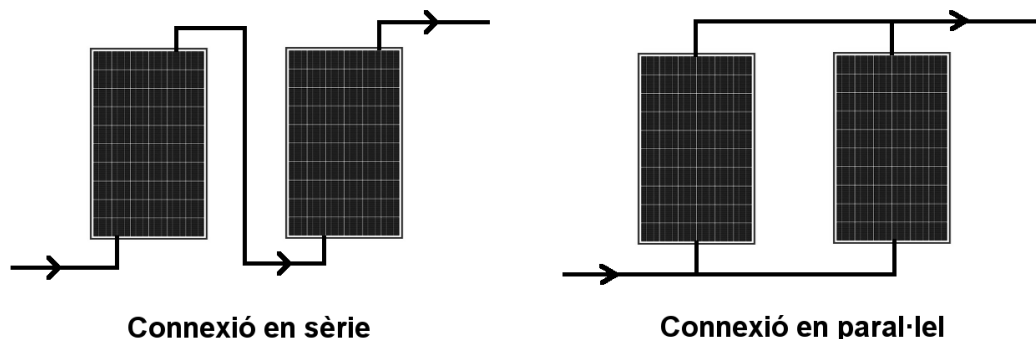
Per a dissenyar les conduccions de la instal·lació cal conèixer, primerament, les condicions de treball, a partir de les quals es triarà el material, i seguidament, com es connectaran els captadors solars, per a poder així conèixer el cabal que circularà per aquestes i poder realitzar-ne un correcte dimensionat.

Coneixent ja les condicions de treball es procedeix a dissenyar les connexions entre col·lectors.

#### ➤ Connexions entre captadors solars

En una instal·lació solar tèrmica és molt important dissenyar un connexionat que garanteixi un flux uniforme a través de tots els captadors, ja que és la manera indicada per a obtenir el millor rendiment possible. D'altra banda, també és important que el flux dins d'aquestes connexions es trobi sempre en règim turbulent per així garantir una transferència òptima d'energia.

Les connexions entre captadors poden ser en sèrie o en paral·lel, com es pot veure a la Figura 8.1. D'altra banda, també és típic realitzar una connexió mixta, sobretot en instal·lacions grans.



*Figura 8.1 Tipus de connexió entre captadors*

En un camp de col·lectors en sèrie circula un mateix cabal per a cada un dels panells, que equival al cabal total del circuit primari. El cabal, generalment, ve recomanat pel fabricant del captador, i acostuma a ser relativament baix. Aquesta connexió proporciona temperatures de treball en el circuit primari força altes, pel que si connectem molts col·lectors en sèrie, el rendiment dels últims serà reduït ja que la temperatura d'entrada serà molt alta, generant així unes pèrdues tèrmiques també elevades. Es recomana no connectar en sèrie més de 4 captadors, degut a la reducció del rendiment i a l'augment de perill de sobreescalfament.

Pel que fa a la connexió en paral·lel, cal aconseguir un cabal idèntic en cada col·lector per

així treballar amb cabals superiors en el circuit primari però amb pèrdues de càrrega molt inferiors a un camp de col·lectors en sèrie. Tot i això, per a realitzar-la es necessiten conductes més llargs i, com a conseqüència, es produeix una disminució de la temperatura superior que en la connexió en sèrie. En el cas d'estudi, Junkers permet connectar fins a 10 col·lectors en paral·lel.

Finalment, el que s'acostuma a realitzar en instal·lacions per a calefacció solar, sobretot, és optar per a la connexió mixta, en la que partint dels cabals específics recomanats pel fabricant i del nombre de plaques necessàries per a la instal·lació es dissenya una configuració determinada.

En el cas d'estudi, ens trobem que per a la instal·lació d'aigua calenta sanitària no és necessari realitzar cap connexió entre panells, ja que amb un de sol s'abasteix el consum anual. Pel que fa a la instal·lació per a la calefacció, cal connectar 18 panells solars FKT-2 entre ells, els quals tenen un cabal específic recomanat per el fabricant de  $50 \text{ L}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ . Per a realitzar aquesta connexió, i partint de les especificacions del fabricant, es decideix optar per una combinació paral·lel-paral·lel on es tindran dues fileres de 9 captadors solars en paral·lel connectades en paral·lel entre elles.

Així doncs, els cabals resultants es mostren a la Taula 8.2.

Instal·lació	Àrea de captació ( $\text{m}^2$ )	Cabal total ( $\text{L}/\text{h}$ )
<b>ACS</b>	2,23	111,5
<b>Calefacció</b>	40,14	2007

*Taula 8.2 Cabals totals per a cada instal·lació*

### ➤ Fluid de treball

El fluid caloportador ha de tenir un elevat calor específic, un coeficient de dilatació petit, punt d'evaporació alt, baixa inflamabilitat, protecció contra les gelades i no ha de ser tòxic, corrosiu ni contaminant.

L'aigua compleix pràcticament tots els requisits, tot i això, en zones amb risc de gelada, com en el cas d'estudi, aquesta s'ha de mesclar amb un anticongelant. Al barrejar l'aigua amb l'anticongelant el fluid de treball és més adequat degut a que millora la seva protecció contra les gelades, però d'altra banda la majoria de propietats empitjoren lleugerament.

En l'actualitat, el fluid de treball més utilitzat és la mescla d'aigua amb etilenglicol. Aquestes mescles es subministren concentrades i inclouen inhibidors per a evitar la corrosió dels



circuits. Les propietats de la mescla dependran de la proporció d'anticongelant.

En el cas d'estudi es parteix de dades històriques que indiquen que es podria arribar a registrar, en casos extrems, una temperatura pròxima als  $-15^{\circ}\text{C}$ . Amb aquesta dada i la Taula 8.3, es podrà decidir amb quin % volumètric d'etilenglicol es decideix treballar.

% etilenglicol	25	30	35	40	45
Temperatura de congelació [ $^{\circ}\text{C}$ ]	-8,9	-12,8	-16,1	-20,6	-26,7

*Taula 8.3 Temperatura de congelació de la dissolució aquosa d'etilenglicol segons el % volumètric. Font: [10]*

Així doncs, s'utilitzarà una dissolució d'etilenglicol amb una concentració volumètrica del 35%, la qual té associada una temperatura de congelació de  $-16,1^{\circ}\text{C}$ , i és que no és recomanable sobredimensionar aquest valor ja que tant la capacitat calorífica de la mescla com la viscositat es veuen afectades negativament.

Aquest fluid de treball no acostuma a patir degradacions importants si es treballa dins dels límits especificats pel fabricant. És recomanable, per això, realitzar revisions de les propietats del fluid de treball durant els processos de manteniment de les instal·lacions. Comprovant el PH és possible saber si el fluid manté les seves propietats.

Per a obtenir el fluid caloportador es comprarà etilenglicol al 99% i es prepararà una dissolució amb aigua. Posteriorment es veurà que els volums totals de líquid caloportador són de 7,43 L per a l'ACS i de 85,76 L per a la calefacció, el que implica que es necessitarà per una instal·lació 2,6 L i per a l'altra 30,016 L d'etilenglicol pur. Càlculs a l'Annex 3.2.1.

#### ➤ Xarxa de canonades

Són varis els materials que es poden trobar al mercat destinats a la construcció de conductes, però molts d'ells, sobretot els pertanyents a la família dels polímers, no són aptes per a les instal·lacions solars tèrmiques ja que no admeten les temperatures de treball a les quals es pot arribar. Els materials més comú en aquestes instal·lacions és el coure, degut a un ampli ventall de característiques com la facilitat de treballar-lo, que és soldat per capil·laritat, resistent a la corrosió interna i representa pèrdues de càrrega inferior per mateixos diàmetres. Així doncs, els conductes del circuit primari seran construïts amb coure amb una capa de pintura anticorrosiva per a evitar-ne el desgast degut a diferents condicions atmosfèriques.

Seguidament, cal dimensionar els conductes partint dels cabals que hi circularan. Així doncs, el cabal del circuit primari per a l'obtenció d'ACS serà constant i igual a  $111,5 \text{ L/h}$  pel fet que aquest estarà format per un únic captador. Pel que fa al circuit primari de la

instal·lació de calefacció, el cabal total serà de  $2007 \text{ L/h}$ , però per a cada col·lector només hi circularà un cabal de  $111,5 \text{ L/h}$ . La xarxa de canonades d'aquest circuit constarà de diferents trams amb el cabal adequat en cada cas. La xarxa amb els cabals corresponents es pot veure a la Figura 8.2.

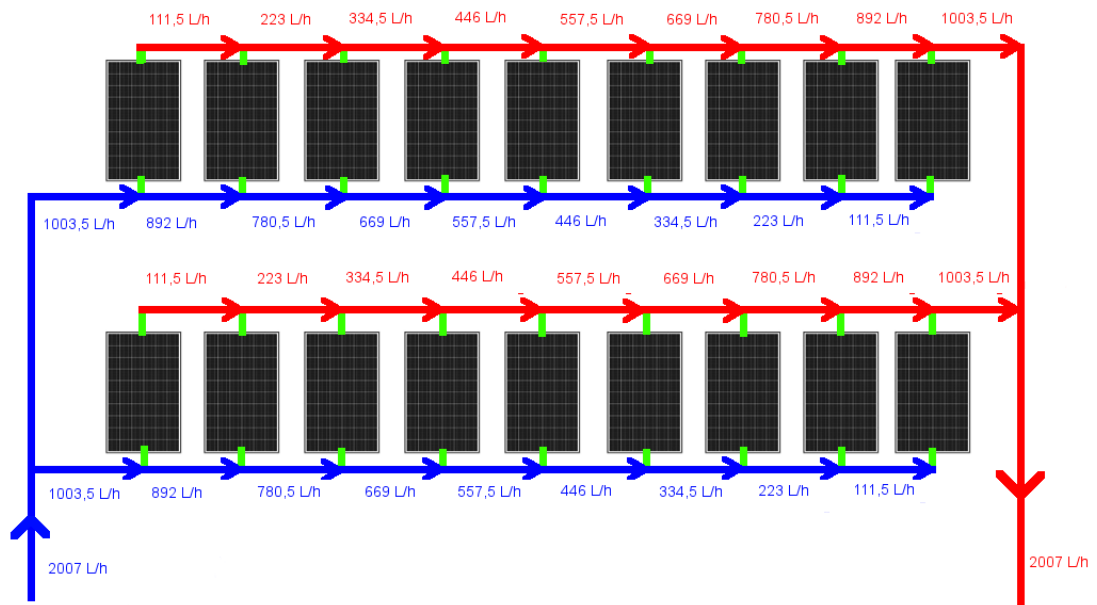


Figura 8.2 Distribució dels cabals per la xarxa de canonades per la calefacció. Font pròpia.

Un cop conegut el material i els cabals que hi circularan, ja es pot conèixer el diàmetre de cada canonada a partir de la metodologia general de mecànica de fluids, consistent en un procés iteratiu, i la qual és vàlida en qualsevol cas.

Per a utilitzar aquesta metodologia cal conèixer la rugositat absoluta interior del conducte ( $\varepsilon$ ), que en el cas del coure és igual a  $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ , la viscositat cinemàtica ( $\nu$ ), que en el cas de l'aigua amb glicol és aproximadament  $1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  i el cabal que circula per cada canonada. Altrament també cal imposar una pèrdua de càrrega unitària ( $h_{fl}$ ) per a començar el mètode iteratiu. Amb aquestes dades i l'àbac de Moody es procedeix a calcular el coeficient de fregament ( $f$ ) de la canonada i anàlogament es troba el diàmetre interior del conducte ( $D_i$ ).

Per a seleccionar les canonades de coure, altrament, també cal tenir en compte els dos criteris exposats a continuació:

- Criteri de la velocitat màxima: La velocitat de pas ( $v$ ) ha de ser menor de  $2 \text{ m/s}$  si la canonada recorre locals habitats i menor de  $3 \text{ m/s}$  en qualsevol altre cas.

- Criteri de pèrdues de càrrega màximes: Les pèrdues de càrrega unitària de la canonada han d'estar compreses entre 10 i 40  $mm.c.a./m$ . Les unitats són mil·límetres de columna d'aigua per metre lineal de canonada.

A l'Annex 3.2.2 el mètode es detalla més àmpliament i també s'explica els passos a seguir durant les iteracions. Finalment, s'obté un diàmetre interior òptim a partir del qual es triarà quina canonada s'utilitzarà. Per a escollir la canonada es segueix la norma UNE-EN 1057 [2]. Per a escollir les canonades s'ha procurat que totes tinguin el mateix grossor de paret per a facilitar-ne la unió. En aquest cas el grossor equival a 1 mm. Amb les canonades escollides es calculen els valors finals, presentats a la Taula 8.4.

q [L/h]	$D_i$ òptim [mm]	$D_i$ normalitzat [mm]	$D_e$ [mm]	v [m/s]	hfl [mmca/m]
<b>2007</b>	32,16	33	35	0,65	17,72
<b>1003,5</b>	24,83	26	28	0,53	16,21
<b>892</b>	23,78	26	28	0,47	13,06
<b>780,5</b>	22,61	20	22	0,69	36,41
<b>669</b>	21,36	20	22	0,59	27,46
<b>557,5</b>	19,99	20	22	0,49	19,94
<b>446</b>	18,46	20	22	0,39	13,55
<b>334,5</b>	16,64	16	18	0,46	24,22
<b>223</b>	14,34	14	16	0,40	22,40
<b>111,5</b>	11,07	12	14	0,27	13,38

*Taula 8.4 Canonades, velocitat i pèrdues de càrrega unitària segons cabal*

Així doncs, es pot veure que amb les canonades escollides es respecten els criteris de selecció.

Pel que fa a l'aïllament dels conductes, el gruix d'aquest ve determinat pel diàmetre exterior i per la temperatura del fluid caloportador. Per a un diàmetre inferior als 35 mm el gruix d'aïllament recomanat és de 20mm. [4]

### 8.3.3. Vas d'expansió

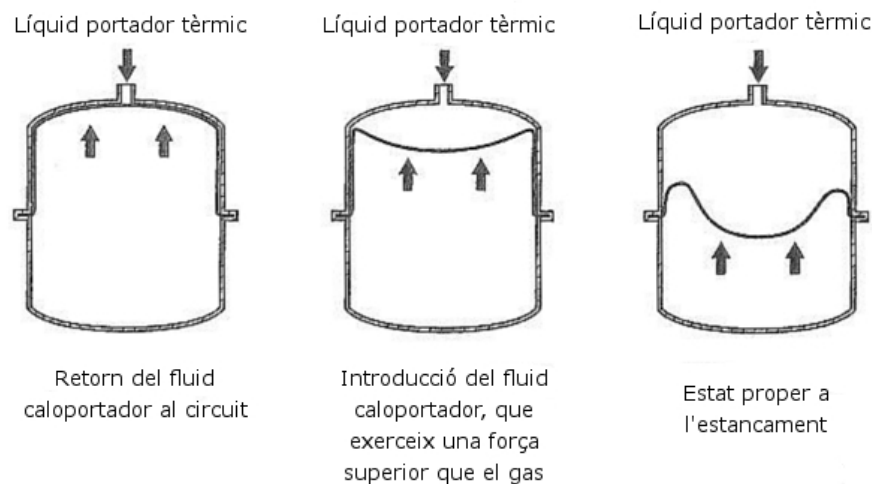
La funció del vas d'expansió és la d'assimilar tota la dilatació del fluid de treball en el circuit primari quan el sistema assoleixi la temperatura d'estancament més alta possible.

El vas d'expansió és un dipòsit estanc dividit en dos cambres, una de gas i l'altre del fluid caloportador, les quals estan separades per una membrana flexible que permet que el volum de les cambres variï. El gas, que en aquest cas és nitrogen, té la funció d'esmortir les variacions volumètriques i baromètriques del fluid de treball del circuit primari si s'arriba a un estat d'estancament.

Segons el CTE, el vas d'expansió es connectarà preferentment a l'aspiració de la bomba.

Això es deu a que, en general, aquests equips no suporten unes temperatures de treball superiors als 120°C.

El seu funcionament es pot veure gràficament a la Figura 8.3. Quan el fluid caloportador s'escalfa s'expandeix augmentant-ne la pressió d'aquest i, com a conseqüència, augmentant la força d'empenta que aquest exerceix sobre la membrana de tal manera que aquesta superi l'empenta exercida pel gas a l'altra banda de la membrana i la resistència a la flexió de la mateixa membrana, deformant-la i permetent així l'entrada del fluid dins del dipòsit. Tot i que el gas es contrau la pressió d'aquest no és suficient per a superar la força del fluid caloportador, sempre i quan el vas estigui ben dimensionat. Finalment, quan el fluid es refreda i es contrau, es redueix la pressió que exerceix i l'empenta generada pel gas fa que aquest torni a la xarxa de canonades.



*Figura 8.3 Funcionament del vas d'expansió. Font pròpia.*

Abans de dimensionar aquest vas, cal tenir en compte que el CTE indica que els vasos d'expansió han d'estar sobredimensionats, de tal forma que inclús després de la interrupció del subministrament de potència a la bomba de circulació del circuit de captadors, just quan la radiació sigui màxima, es pugui restablir l'operació automàticament quan la potència estigui disponible de nou.

En un vas d'expansió es poden distingir el volum total del vas, o volum nominal, i el volum útil, equivalent al màxim volum de fluid de treball que aquest pot acceptar. Per a dimensionar el vas s'utilitza la UNE EN 100155, "Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión", la qual aplica l'Equació 8.2. [22]

$$V_t = V_f \cdot C_e \cdot C_p$$

*Equació 8.2 Càlcul volum vas d'expansió*

En la que:

- $V_t$ : Volum total vas d'expansió. [ $m^3$ ]
- $V_f$ : Volum total del fluid de treball en el circuit primari. [ $m^3$ ]
- $C_e$ : Coeficient d'expansió fluid caloportador.
- $C_p$ : Coeficient baromètric fluid caloportador.

Així doncs, primerament cal calcular el volum total del fluid de treball en el circuit primari. Per a fer-ho s'utilitza l'Equació 8.3.

$$V_f = V_{canonades} + V_{col·lectors} + V_{serpentí}$$

*Equació 8.3 Càlcul volum fluid caloportador*

El volum del fluid en els col·lectors es troba a partir de la dada proporcionada pel fabricant i que, en el cas d'estudi, és igual a  $1,6 \frac{l}{col·lector}$ . El volum de fluid en el serpentí de l'interacumulador, les dades també venen donades pel fabricant.

Pel que fa al volum de fluid en les canonades, aquest es calcula tram a tram mitjançant l'Equació 8.4. A l'Annex 3.2.3 es poden veure els resultats desglossats.

$$V_{canonades} = L \cdot \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot 1000$$

*Equació 8.4 Càlcul volum canonades en  $m^3$*

Així doncs, els resultats obtinguts per a cada circuit es poden trobar a la Taula 8.5.

Circuit	$V_{canonades}$ [l]	$V_{col·lectors}$ [l]	$V_{serpentí}$ [l]	$V_f$ [l]
<b>ACS</b>	0,97	1,6	4,86	7,43
<b>Calefacció</b>	33,16	28,8	23,8	85,76

*Taula 8.5 Volum fluid caloportador dins el circuit primari de la instal·lació*

Seguidament caldria calcular el coeficient d'expansió ( $C_e$ ). Aquest representa la relació entre el volum útil del vas d'expansió i el volum de fluid caloportador total de la instal·lació. Segons el RITE, es calcula amb l'Equació 8.5. [20]

$$C_e = (3,24 \cdot T_f^2 + 102,13 \cdot T_f - 2708,3) \cdot 10^{-6}$$

*Equació 8.5 Càlcul coeficient d'expansió*

On  $T_f$  és la temperatura màxima que pot prendre el fluid a la zona del vas d'expansió. En aquest cas s'agafa una  $T_f = 100^\circ\text{C}$ , entenent que aquest és el valor que assoliria el fluid caloportador a l'aspiració de la bomba en cas de trobar-se en un estancament.

Així doncs, s'obté un  $C_e = 0,0399$ . Aquest valor, però, és vàlid per a l'aigua. Utilitzant una dissolució d'etilenglicol cal ajustar aquesta xifra amb un factor de correcció ( $f_c$ ), obtingut a través de l'Equació 8.6.

$$f_c = a \cdot (1,8 \cdot T_f + 32)^b$$

*Equació 8.6 Càlcul factor correcció coeficient d'expansió [18]*

Sent  $a$  i  $b$  factors que depenen del percentatge en volum de l'etilenglicol ( $V_e$ ), i que es calculen com indiquen l'Equació 8.7 i l'Equació 8.8, respectivament.

$$a = -0,0134 \cdot (V_e^2 - 143,8 \cdot V_e + 1918,2)$$

*Equació 8.7 Càlcul factor a*

$$b = 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot (V_e^2 - 94,57 \cdot V_e + 500)$$

*Equació 8.8 Càlcul factor b*

Prenent  $V_e = 35\%$  s'obté  $a = 25,32$ ,  $b = -0,5547$ ,  $f_c = 1,297$ . Corregint el coeficient d'expansió resulta  $C_e = 0,0518$ .

Finalment, per a calcular el coeficient de pressió es parteix de la llei de Boyle i Mariotte, fent la simplificació de considerar que es tracta d'un gas ideal que varia de volum a temperatura constant. Aquest coeficient representa la relació entre el volum total i el volum útil del vas d'expansió. Així doncs, es calcula amb l'Equació 8.9 a partir de la pressió absoluta màxima i la pressió absoluta mínima (donades en bars) de la instal·lació.

$$C_p = \frac{P_{m\grave{a}x}}{P_{m\grave{a}x} - P_{m\grave{i}n}}$$

*Equació 8.9 Càlcul coeficient de pressió (variació de volum a T constant)*

On  $P_{m\grave{i}n}$  es calcula amb l'Equació 8.10 i  $P_{m\grave{a}x}$  amb l'Equació 8.11.

$$P_{m\grave{i}n} = P_{m\grave{i}n\_fluid} + 0,1 \cdot P_{est\grave{a}tica} + P_{atm}$$

*Equació 8.10 Càlcul  $P_{m\grave{i}n}$  instal·lació*

Sent:

- Pressió mínima del fluid,  $P_{\min\_fluid} = 1,5 \text{ bar}$ .
- Pressió estàtica, diferencia de metres entre cota dels captadors i sala de màquines,  $P_{estàtica} = 3 \text{ bar}$ .
- Pressió atmosfèrica,  $P_{atm} = 1 \text{ bar}$ .

$$P_{màx} = 0,9 \cdot P_{VS} + P_{atm}$$

*Equació 8.11 Càlcul  $P_{màx}$  instal·lació*

Sent:

- Pressió de salt de la vàlvula de seguretat,  $P_{VS} = 6 \text{ bar}$ .
- Pressió atmosfèrica,  $P_{atm} = 1 \text{ bar}$ .

Així doncs,  $P_{\min} = 2,8 \text{ bar}$ ,  $P_{màx} = 6,4 \text{ bar}$  i  $C_p = 1,778$ .

Finalment, a la Taula 8.6 es poden veure els volums útil (en el que només s'aplica el coeficient d'expansió) i el volum total del vas a utilitzar en cada instal·lació. També s'ha anotat el vas que s'adquirirà i el volum d'aquest. És bo recordar que és altament recomanat que aquest vas estigui sobredimensionat. Les característiques dels vasos seleccionats es poden trobar a l'Annex 3.2.4.

Instal·lació	$V_f$ [L]	$V_{útil}$ [L]	$V_t$ [L]	$V_{vas}$ [L]	Vas
<b>ACS</b>	7,43	0,385	0,684	2	Heatwave – Likitech
<b>Calefacció</b>	85,76	4,44	7,90	12	Heatwave – Likitech

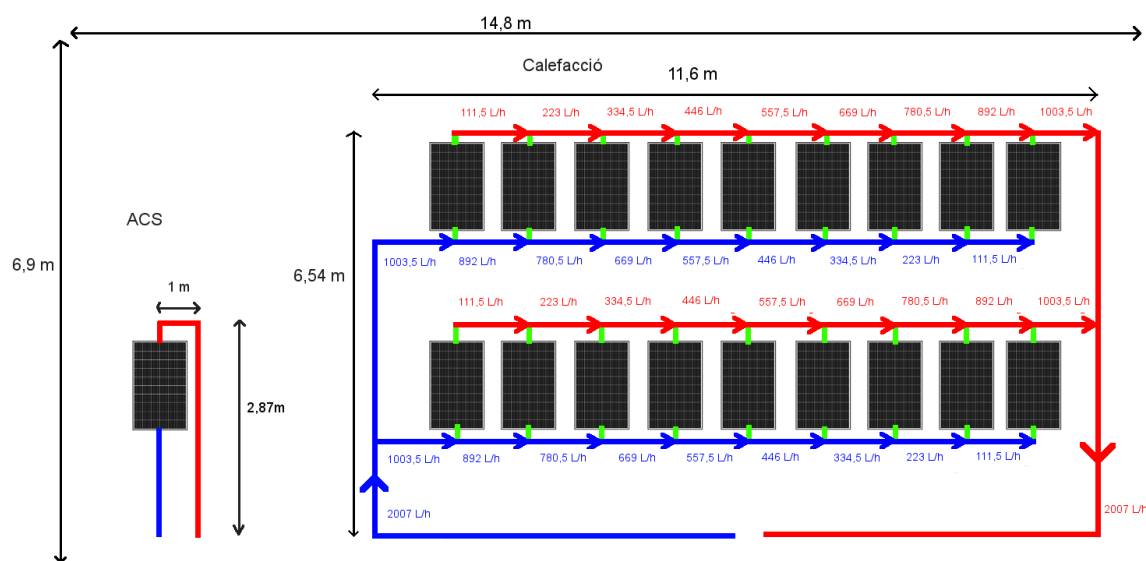
*Taula 8.6 Volums del vas d'expansió per a cada instal·lació*

#### 8.3.4. Bomba de circulació

La seva funció és la de garantir la correcta circulació del fluid caloportador per la xarxa de canonades compensant les pèrdues de càrrega que pateix el fluid a mesura que avança per la instal·lació. En el circuit primari, la bomba s'ubicarà just després del vas d'expansió.

Per a trobar les pèrdues de càrrega total, cal saber quants metres es tenen de cada tram, entenent un tram tot aquell que tingui un mateix cabal i, evidentment, un mateix tipus de conducte. A la Figura 8.4 es pot veure les mesures dels circuits sobre el sostre encarant cap

al sud. A aquestes mesures cal sumar-li 2 metres per a connectar l'acumulador amb el circuit i 2 més per a connectar el circuit amb l'acumulador.



*Figura 8.4 Disseny del camp de captació. Plànol amb mesures orientatives.*

D'altra banda, a la mateixa imatge podem veure que el circuit compte amb singularitats com colzes i desviacions en forma T, altrament també és conegut que hi haurà trams on la secció es redueix. Totes aquestes acaben generant unes pèrdues de càrrega localitzades que són considerades com a una longitud equivalent de la canonada que, multiplicada per la pèrdua de càrrega unitària, acaba contribuint a la pèrdua de càrrega total. Els càlculs aproximats d'aquestes es poden trobar a l'Annex 3.2.5.

Així doncs, pel circuit d'ACS obtenim els resultats representats a la Taula 8.7

ACS							
Cabal [L/h]	Di [mm]	Longitud [m]	L equivalent singularitats [m]	Longitud total [m]	h <sub>fl</sub> [mmca/m]	h [mmca]	
111,50	12	8,57	1,60	10,17	13,38	136,06	

*Taula 8.7 Pèrdua càrrega xarxa canonades ACS*

Pel que fa al circuit per a l'obtenció de calefacció, aquest és més complex degut a l'ús de fins a 18 captadors. Els càlculs de les singularitats es troben a la Taula 3.10 de l'Annex 3.2.5. A continuació, a la Taula 8.8 es representen els resultats equivalents a la pèrdua de càrrega total a la xarxa de canonades del sistema per a l'obtenció de calefacció.



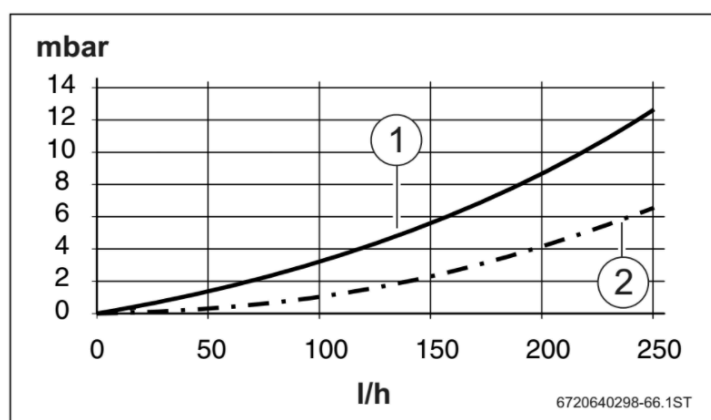
<b>Calefacció</b>						
Cabal [L/h]	Di [mm]	Longitud [m]	L equivalent singularitats [m]	Longitud total [m]	h <sub>fl</sub> [mmca/m]	h [mmca]
<b>2007</b>	33	17,97	5,6	23,57	17,72	417,60
<b>1003,5</b>	26	12,34	5,6	17,94	16,21	290,82
<b>892</b>	26	4,8	4	8,8	13,06	114,97
<b>780,5</b>	20	4,8	4	8,8	36,41	320,42
<b>669</b>	20	4,8	4	8,8	27,46	241,69
<b>557,5</b>	20	4,8	4	8,8	19,94	175,47
<b>446</b>	20	4,8	4	8,8	13,55	119,27
<b>334,5</b>	16	4,8	4	8,8	24,22	213,13
<b>223</b>	14	4,8	4	8,8	22,40	197,13
<b>111,5</b>	12	8,4	2	10,4	13,38	139,14
<b>TOTAL</b>						<b>2229,63</b>

*Taula 8.8 Pèrdua càrrega xarxa canonades calefacció*

A aquestes pèrdues de càrrega cal sumar-li les pèrdues generades tan als panells com a l'intercanviador

Pel que fa al serpentí intercanviador localitzat a l'interior de l'acumulador, en el cas del circuit per a ACS, les pèrdues equivalen a 500 mmca, i en el cas de la calefacció, aquestes equivalen a 1500 mmca.

Finalment, per a obtenir les pèrdues de càrrega totals cal afegir les corresponents als panells. Per aconseguir-les, s'ha contactat amb el servei tècnic de Junkers, els quals han proporcionat la gràfica que es pot veure a la Figura 8.5. En aquesta es pot apreciar que per a un cabal d'uns 111,5 l/h les pèrdues són, aproximadament, de 4 mbar  $\approx$  40 mmca. Així doncs, es treballarà amb unes pèrdues per captador de 40 mmca.



*Figura 8.5 Pèrdua de càrrega del captador FKT-2. 1: Model vertical. 2: Model horitzontal*

A la Taula XX es recullen les pèrdues de càrrega totals a les que les bombes hauran de fer front.

Instal·lació	$\Delta P_{\text{canonades}}$ [m. c. a]	$\Delta P_{\text{serpentí}}$ [m. c. a]	$\Delta P_{\text{panells}}$ [m. c. a]	$\Delta P_T$ [m. c. a]
<b>ACS</b>	0,136	0,5	0,04	0,676
<b>Calefacció</b>	2,23	1,5	0,72	4,45

Coneixent que  $1 \text{ bar} = 10,2 \text{ m. c. a}$ , es troba que la pèrdua de càrrega de la instal·lació d'ACS és igual a uns 0,077 bars mentre que la de la instal·lació per a calefacció és aproximadament d'uns 0,627 bars. Ambdues càrregues són relativament baixes i fàcils d'assolir per a qualsevol bomba. Caldrà pensar també en que el cabal de la instal·lació serà aproximadament de  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ . Una bomba que compleix aquestes característiques és el model ALPHA1 25-40 de Grundfos, la qual, d'altra banda, pot treballar amb pressions màximes de 10 bars i a una temperatura de  $110^\circ\text{C}$ .

### 8.3.5. Sistema de purga

L'absència total d'aire en el circuit primari és fonamental per a un correcte funcionament de la instal·lació. Quan el circuit no està ben purgat, l'aire es presenta en forma de bossa i es generen sorolls a la bomba de circulació i disminueix el rendiment general de la instal·lació.

L'aire s'introdueix en dues fases, quan es posa en marxa la instal·lació i durant el funcionament normal del sistema. Així doncs, cal instal·lar purgadors que permetran l'evacuació de l'aire que s'hagi pogut introduir al sistema. Aquests components poden diferenciar-se en dues tipologies en funció del seu accionament:

- D'accionament manual: en ells s'acumula l'aire i aquest no surt fins que s'afluïxa una vàlvula.
- D'accionament automàtic: deixen sortir l'aire quan es supera una quantitat establerta.

Aquests equips funcionen perfectament durant el funcionament normal del sistema. Pel que fa a la posada en marxa de la instal·lació, es recomana que una bomba proporcioni un cabal elevat (d'entre 6 i  $10 \text{ L/min}$ ) per així arrossegar tot l'aire.

D'altra banda, a l'apartat DB HE 4 del CTE s'estableix quines localitzacions han de prendre els purgadors. Aquests s'han de col·locar als punts alts de la sortida de bateries de captadors i en aquells punts on es pugui quedar aire acumulat. També recomana que, tot i que la instal·lació disposi de purgadors automàtics, s'incorpori un purgador manual en cas d'emergència. En aquesta instal·lació es col·locaran dos purgadors a la instal·lació per a

calefacció (a sobre de cada grup de nou captadors) i un a la instal·lació per a l'obtenció d'aigua calenta sanitària. [11]

Es treballarà amb el Purgador Automàtic 250031 de Caleffi, que pot treballar amb unes pressions màximes de 10 bars, entre temperatures de -30°C a 180°C i amb un percentatge màxim de etilenglicol del 50%.

### **8.3.6. Vàlvules de seguretat i de retenció**

Les vàlvules de seguretat tenen la funció de permetre el buidat de la instal·lació abans d'arribar a valors de pressió que puguin danyar irreversiblement diferents components del circuit. Aquestes vàlvules han de comptar sempre amb un sistema de recollida de fluid tèrmic per així garantir la seguretat en la instal·lació i han d'estar preparades per a suportar les temperatures d'estancament dels col·lectors.

Hi ha quatre tipus de vàlvules bàsics, que són els següents:

- Vàlvula d'esfera: És un mecanisme de clau de pas que serveix per a regular el flux d'un fluid canalitzat i es caracteritza perquè el seu mecanisme regulador situat a l'interior té forma d'esfera perforada.
- Vàlvula de seient: Consisteix en un forat i un tap cònic col·locat a l'extrem d'una vareta. Serveix tant per a regular el pas d'un element com per a la funció de passa/no passa.
- Vàlvula de ressort: Dissenyades per alleugerir la pressió quan un fluid supera un límit preestablert.
- Vàlvula de comporta: S'obre mitjançant l'aixecament d'una comporta o fulla permetent així el pas del fluid.

L'apartat 3.4.6 del document DB HE 4 del CTE estableix que la tria de vàlvules es farà segons la funció que han de complir i les condicions de treball en cas d'estancament seguint els criteris especificats a continuació: [11]

- Per a aïllament: vàlvules d'esfera.
- Per a equilibrat de circuits: vàlvules de seient.
- Per a buidat: vàlvules d'esfera.
- Per a ompliment: vàlvules d'esfera.

- Per a purga d'aire: vàlvules d'esfera.
- Per a seguretat: vàlvula de ressort.
- Per a retenció: vàlvula de comporta.

A cada circuit comptarem amb una vàlvula per a seguretat convencional, exactament una vàlvula d'alleugeriment de pressió de la marca Caleffi i dues vàlvules d'esfera de la casa Genebre, una per a l'aïllament dels dipòsits i l'altre per al buidat del circuit, a través de la qual també es farà l'ompliment. Finalment recordar que s'utilitzaran també purgadors automàtics.

### 8.3.7. Sistema de control

El sistema de control és l'encarregat d'assegurar el correcte funcionament de les instal·lacions, procurant obtenir un bon aprofitament de l'energia solar captada i assegurant un ús adequat de l'energia auxiliar. Aquest sistema també s'encarregarà de controlar el funcionament dels circuits i els sistemes de protecció i seguretat contra sobreescalfaments, gelades, etc. [11] Altrament, aquests sistemes també poden encarregar-se de regular components de la instal·lació d'una piscina o en un circuit de calefacció.

#### ➤ Regulació de la bomba

Per a entendre el funcionament del controlador s'assignen les següents variables:

- $T_1$ : Temperatura a la sortida del camp de captadors.
- $T_2$ : Temperatura de l'interacumulador.
- $T_3$ : Temperatura consigna de l'interacumulador.

En aquest projecte es treballarà amb el controlador solar per temperatura diferencial TDS100-2 de la casa Junkers, i es treballarà amb una temperatura de consigna dels dipòsits,  $T_3$ , de 60°C en el cas d'ACS i de 40°C en cas del dipòsit per a la calefacció.

En el cas d'aquest projecte el controlador no caldrà que alterni l'ompliment dels dipòsits d'interacumulació, ja que per a facilitar la valoració final s'ha interpretat que el circuit per a ACS i el per a calefacció són independents entre ells.

Quan  $T_1 - T_2 > 8^\circ\text{C}$  i  $T_2 < T_3$ , el sistema de regulació activa la bomba i permet l'intercanvi tèrmic. La bomba s'aturarà quan  $T_1 - T_2 < 3^\circ\text{C}$  o  $T_2 > T_3$ . Es treballa amb aquests valors ja que és necessita un petit salt tèrmic per a poder cedir energia al sistema, si s'activés la bomba amb una diferència de 2°C o menys s'estaria gastant electricitat inútilment.

### ➤ Protecció contra gelades

La protecció contra gelades consisteix en activar la bomba durant uns minuts quan  $T_1 < 0^{\circ}\text{C}$  per així fer que el fluid caloportador es mogui i evitar que es congeli. Aquesta funció pot portar a pensar que es podria utilitzar aigua directament com a fluid tèrmic, però a la pràctica no es fa ja que en cas d'una interrupció en el subministrament elèctric la instal·lació es malmetria.

### ➤ Protecció contra sobreescalfaments

En referència a la protecció per als sobreescalfaments, es tindrà un dissipador tèrmic. En cas de que  $T_1 > 100^{\circ}\text{C}$ , el controlador activarà la bomba i obrirà una vàlvula de tres vies motoritzada que regularà l'accionament del dissipador i en farà circular tot el fluid tèrmic a través d'ell. Un cop a la sortida del dissipador s'enviarà el fluid a la bomba de circulació per a fer-lo circular novament pel circuit primari fins que les sondes marquin que les temperatures estan dins dels rangs permesos. Aquesta funció és important sobretot en èpoques de consum molt reduït i generació elevada. S'utilitzarà un kit de dissipació de Salvador Escoda en la instal·lació per a la calefacció. Com a mesura de protecció, altrament, també es taparan els captadors durant l'estiu si es creu convenient.

## 8.4. Sistemes auxiliars

En la instal·lació per a ACS el sistema auxiliar serà la resistència elèctrica que allotjarà el dipòsit S-ZB Solar al seu interior. Aquesta s'activarà quan tan la temperatura del dipòsit com la de sortida del camp de captadors siguin inferiors a  $60^{\circ}\text{C}$ . En aquest cas la bomba estarà aturada i no es deixarà circular l'aigua pel circuit primari a no ser que hi hagi perill de gelada.

D'altra banda, en la instal·lació per a calefacció, el sistema auxiliar serà una estufa de pellets que, com s'ha comentat anteriorment, ja disposa l'habitatge. Recordar que aquesta té un rendiment aproximat del 90% i que el PCI dels pellets és de  $5,23 \text{ kWh/kg}$ . Aquesta s'activarà sempre que la instal·lació solar no arribi a satisfer la demanda de calefacció.

## 9. Circuit secundari

En aquest apartat s'hauria de dissenyar el circuit secundari tant en la instal·lació d'ACS com per a la calefacció. Tot i això, com l'estudi està enfocat en la reforma d'una masia ja construïda, amb una instal·lació d'ACS en correcte funcionament i amb una calefacció basada en radiadors, només caldrà estudiar com connectar les instal·lacions solars amb els sistemes auxiliars per a acoblar-les a les instal·lacions actuals.

### 9.1. Instal·lació d'ACS

#### 9.1.1. Acoblament amb instal·lació solar

Com s'ha comentat anteriorment, el sistema auxiliar en la instal·lació d'ACS serà una resistència localitzada a l'interior del mateix dipòsit interacumulador. Per tant, no caldrà connectar el dipòsit amb cap altre sistema.

Així doncs, solament caldrà connectar el dipòsit amb el sistema hidràulic actual de la instal·lació d'ACS. En aquest cas, l'únic que caldrà fer és redirigir les connexions del circuit d'aigua calenta per a que connecti amb el dipòsit interacumulador enlloc de amb l'antic termo elèctric. Cal remarcar que l'aigua freda entrarà per la zona inferior del dipòsit, mentre que la sortida d'aigua calenta es trobarà a la part superior d'aquest.

#### 9.1.2. Legionel·losis

És molt important, en un sistema d'aigua calenta sanitària, controlar i evitar la proliferació i dispersió d'agents biològics en general, i sobretot la presència de la legionel·la.

Entre la normativa vigent en destaca sobretot la RD 865/2003, en la qual s'estableixen els criteris higiènic-sanitaris per a la prevenció i control de la legionel·losis.

La legionel·losis és una malaltia infecciosa causada per l'acció de la legionel·la. Es manifesta per mitjà de diversos símptomes i pot arribar a derivar en una pneumònia i, en alguns casos, produir la mort de la persona afectada. És per aquesta raó que és imprescindible evitar la presència de la legionel·la en un circuit d'ACS.

La legionel·la és una bactèria que pot aparèixer en aigües estancades, i la seva supervivència es veu altament afectada segons la temperatura d'aquestes aigües. Per sota dels 20°C pot sobreviure sense multiplicar-se, és a partir d'aquesta temperatura i fins als 50°C que la legionel·la es troba en un rang de multiplicació òptim. Un cop superats els 60°C la legionel·la mor en aproximadament mitja hora, i a partir dels 70°C es pot afirmar que les

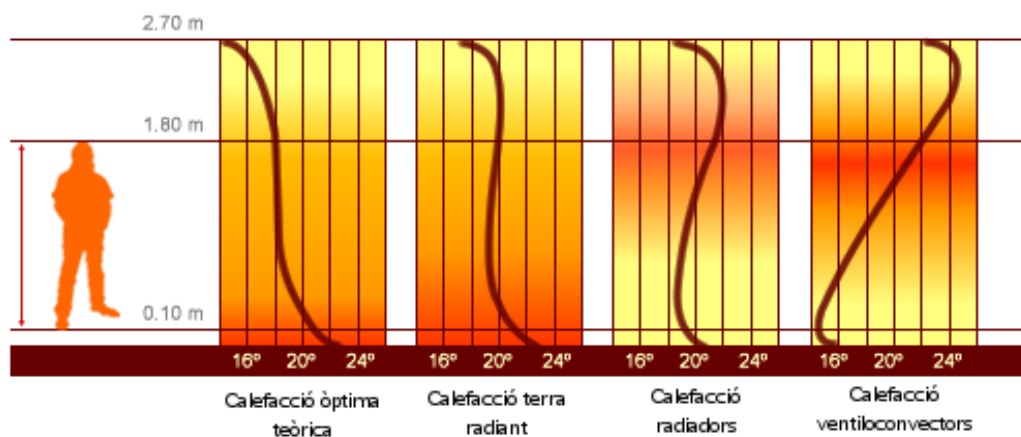
aigües estan desinfectades.

És per aquesta raó que cal controlar en tot moment que el dipòsit d'ACS es trobi a una temperatura mínima de 60°C, podent arribar als 70°C si es desitja desinfectar-la.

## 9.2. Instal·lació de calefacció

Pel que fa a la calefacció, actualment l'habitatge té un sistema de radiadors. En aquest cas cal comentar, però, per que no s'ha decidit dissenyar un sistema de calefacció de baixa temperatura, com acostuma a ser habitual en sistemes de calefacció solar.

És habitual que en instal·lacions solars tèrmiques en habitatges nous com a sistema de calefacció dissenyat sigui per terra radiant. Aquest sistema és conegut per a ser el més confortable per al cos humà, degut a la similitud de la seva corba de temperatura amb el de la corba ideal (veure Figura 9.1).



*Figura 9.1 Gràfic de la corba de temperatures en diferents sistemes de calefacció.*

La seva instal·lació consisteix en una xarxa de canonades situades sota del terra de l'habitatge a través de les quals hi circula aigua calenta provocant un augment de la temperatura del terra i pel principi de convecció, de l'habitatge.

És per aquesta raó que s'ha descartat la instal·lació d'aquest sistema en el cas d'estudi, ja que per a realitzar-la s'hauria d'adaptar tot el terra, fet que implicaria un augment abismal de la inversió.

Així doncs, caldrà concentrar-se amb l'acoblament del dipòsit interacumulador amb l'estufa de pellets.

### **9.2.1. Acoblament amb instal·lació solar**

La connexió entre el dipòsit interacumulador de calefacció i l'estufa de pellets serà en sèrie, de manera que la instal·lació solar aportarà aigua prèviament escalfada a l'estufa.

L'aigua de la xarxa s'introduirà al dipòsit acumulador per la zona inferior i s'extraurà per la part superior. Per mitjà d'una canonada es portarà a la caldera de pellets, on entrarà també per la zona inferior. Aquesta ja està connectada al sistema de radiadors, per tant a partir d'aquí l'aigua es distribuirà correctament.

Quan la temperatura a la sortida del dipòsit ja hagi aconseguit la temperatura consigna de la instal·lació (al voltant dels 40°C), l'aigua calenta arribarà a l'estufa de pellets a la temperatura desitjada i per tant aquesta no s'haurà d'engegar. En cas contrari, si l'aigua arriba al sistema auxiliar a una temperatura inferior a la requerida aquest començarà la crema de pellets per a tal de produir l'energia necessària per aconseguir la temperatura d'aigua desitjada. Així doncs, només caldrà tenir en compte en els costos que per acoblar aquests sistemes de calefacció es necessitarà una canonada de la xarxa d'aigua al dipòsit i una altra que vagi del dipòsit a la caldera de pellets.



## 10. Manteniment

Segons el document DB HE 4 del CTE, pel que fa al manteniment de la instal·lació es defineixen dos graus complementaris d'actuació, el pla de vigilància i el pla de manteniment preventiu.

### ➤ Pla de vigilància

Aquest es refereix bàsicament a les operacions que permeten assegurar que els valors operacionals de la instal·lació siguin correctes. Es un pla d'observació simple dels paràmetres funcionals principals per a verificar el correcte funcionament de la instal·lació. A l'Annex 4.1 se'n descriuen les operacions i s'indica la freqüència amb que s'han de fer.[11]

### ➤ Pla de manteniment

Són operacions d'inspecció visual, verificació d'actuacions i altres que, aplicades a la instal·lació, permeten mantenir dins de límits acceptables les condicions de funcionament, prestacions, protecció i durabilitat de la instal·lació.

El pla de manteniment s'ha de realitzar per personal tècnic competent que sigui coneixedor de la tecnologia solar tèrmica i les instal·lacions mecàniques en general. La instal·lació tindrà un llibre de manteniment en el que es reflectiran totes les operacions realitzades així com el manteniment correctiu.

El manteniment ha d'incloure totes les operacions de manteniment i substitució d'elements fungibles o desgastats per l'ús, necessàries per a assegurar que el sistema funciona correctament durant la seva vida útil.[11]

Les operacions de manteniment es troben desenvolupades de forma detallada a l'Annex 4.2.

## 11. Estudi econòmic

Un cop dimensionada tota la instal·lació solar cal mirar la viabilitat econòmica del disseny proposat. Cal recordar que al llarg de tot el projecte s'ha dimensionat el circuit per ACS i el circuit per a la calefacció independentment per a poder realitzar una valoració més acurada sobre què pot ser rendible en el mas de l'Espinoi. En aquest apartat, d'altra banda, també es valorarà la possibilitat de tenir en un mateix circuit el dipòsit per ACS i calefacció, amb 18 captadors, mantenint tots els components del circuit de calefacció i afegint-hi l'interacumulador per a ACS.

Per a realitzar aquest estudi primerament es recolliran els costos de cada instal·lació i seguidament, mitjançant un indicador de la rendibilitat com el VAN, es comprovarà quina seria la millor alternativa a implementar.

### 11.1. Cost inicial instal·lacions

En un projecte podem distingir entre costos directes i indirectes. Els costos directes són els que corresponen al cost dels materials necessaris, amb IVA inclòs, i al sou del projectista. Els indirectes representen els costos que poden sorgir relacionats amb lloguers de magatzems, instal·lacions i maquinària. També s'hi inclouen el cost de la mà d'obra i del personal tècnic, de la mateixa manera que els costos de possibles imprevistos.

A l'hora de comprar els materials es pot mirar d'obtenir descomptes d'entre 15 i 25%, ja sigui per aconseguir que no se t'apliqui l'IVA com per que realitzi la compra un majorista, i els costos indirectes equivalen, aproximadament, a un 15% dels costos directes. És per aquesta raó que en aquest estudi econòmic només es tindran en compte els costos directes amb IVA incorporat.

Pel que fa als honoraris del projectista, s'ha agafat un salari d'Enginyer Junior d'uns 30€/h. D'altra banda, l'estimació d'hores dedicades al projecte s'ha realitzat a partir de les hores dedicades a aquest treball descomptant-ne totes aquelles dedicades a aprendre nous conceptes. S'assumeix que el càlcul de necessitats tèrmiques correspon a unes 80 hores, mentre que el càlcul de la instal·lació solar en el sistema per a calefacció equival a 70 hores. Pel que fa al sistema per a ACS, 40 hores són dedicades al càlcul de la demanda energètica i 40 més són per al càlcul de la instal·lació, molt més senzill degut a que només s'utilitza una placa. En el cas de realitzar la instal·lació doble s'han assumit que tot plegat serien unes 200 hores.

Així doncs, els costos inicials per a cada projecte queden representats a la Taula 11.1, i es poden veure desenvolupats a l'Annex 5.1.

Alternativa	Costos materials (€)	Hores projectista (h)	Honoraris projectista (€)	Preu total (€)
<b>Calefacció</b>	20930,66	150	5445	26375,66
<b>ACS</b>	2086,71	80	2904	4990,71
<b>Calefacció + ACS</b>	21641,43	200	7260	28901,43

Taula 11.1 Preu total segons alternativa

## 11.2. Comparació alternatives

### 11.2.1. Elecció amb el Valor Actual Net (VAN)

El VAN és un mètode que s'utilitza per a la valoració de diferents opcions d'inversió. Consisteix en actualitzar els cobraments i els pagaments d'un projecte o inversió i calcular-ne la seva diferència. Per a fer-ho, arrossega tots els fluxos de caixa al moment present descomptant-li un tipus d'interès determinat. El VAN expressa una mesura de rendibilitat del projecte en termes absoluts nets, és a dir, en nombre d'unitats monetàries. [5]

En aquest estudi s'utilitzarà el VAN per a decidir quina de les tres alternatives és la més rendible.

Per a calcular el VAN s'utilitza l'Equació 11.1.

$$VAN = \sum_{\tau=0}^n \frac{Q_{\tau}}{(1+k)^{\tau}} = -Q_0 + Q_1 \cdot (1+k)^{-1} + Q_2 \cdot (1+k)^{-2} + \dots + Q_n \cdot (1+k)^{-n}$$

Equació 11.1 Càlcul del VAN.

Sent:

- $Q_0$ : Inversió inicial. [€]
- $Q_{\tau}$ : Flux de tresoreria en el període  $\tau$ . [€]
- $n$ : Horitzó del projecte. [anys]
- $k$ : Taxa d'interès. [tant per u]

Es considera que el projecte genera pèrdues, pel que ha de ser rebutjat, sempre que el VAN

resultant sigui negatiu. A la que aquest és positiu es considera que el valor actualitzat dels cobraments i pagaments futurs de la inversió, a la taxa d'interès escollida, genera beneficis.

Per a saber el flux de tresoreria cal tenir en compte l'estalvi de consum de pellets que s'aconsegueix gràcies a la instal·lació per a la calefacció solar, l'estalvi d'electricitat derivat de la instal·lació per a l'ACS i, d'altra banda, cal tenir en compte uns costos de manteniment de la instal·lació.

### ➤ Estalvi consum

En aquest estudi es consideren 3 alternatives diferents, i cada una d'elles generarà un estalvi diferent. Per a calcular aquest estalvi, cal monetitzar el consum anual previ a la instal·lació solar i posteriorment, calcular quant s'haurà de pagar del sistema auxiliar per a assolir la cobertura total de la demanda energètica.

Per a realitzar aquests càlculs es considera un preu de l'electricitat de 0,13 €/kWh i un preu del quilogram de pellets de 0,25€/kg. Cal recordar que l'estufa de pellets té un rendiment del 90% i que el PCI d'aquest font d'energia és de 5,23 kWh/kg i d'altra banda, que pel que fa al rendiment del termo elèctric, es pren un valor del 95%.

Així doncs, a la Taula 11.2 es pot veure el que es paga amb els sistemes energètics actuals en cada cas.

Instal·lació	Consum anual (kWh)	Font	Preu anterior anual (€) Any 1
<b>Calefacció</b>	20052,71	Pellets	1065,05
<b>ACS</b>	1718,34	Electricitat (Termo)	235,14
<b>Calefacció + ACS</b>	21771,05	Pellets + Electricitat	1300,19

*Taula 11.2 Preu del consum anterior a la instal·lació solar*

Seguidament, a la Taula 11.3 es representa el cost de l'energia auxiliar necessària en cada sistema per assolir la cobertura total. Cal comentar que en el cas de calefacció + ACS sempre es prioritzarà el dipòsit destinat a la xarxa d'aigua calenta, per tant, tota l'energia auxiliar necessària provindrà de l'estufa de pellets.

Instal·lació	Consum auxiliar (kWh)	Font	Preu auxiliar (€) Any 1
<b>Calefacció</b>	3850,87	Pellets	204,53
<b>ACS</b>	126,09	Electricitat (resistència)	17,25
<b>Calefacció + ACS</b>	3952,31	Pellets	209,92

*Taula 11.3 Preu consum d'energia auxiliar*

S'entén, doncs, que el que es paga amb els sistemes actuals serà l'estalvi anual, mentre que el preu de l'energia auxiliar serà un cost anual.

#### ➤ **Costos de manteniment**

Es considera que per a realitzar el manteniment anual és necessari contractar a un tècnic durant unes 2 hores, que comptant que cobra 25€/h, acaba significat un cost anual afegit de 50€.

#### ➤ **Inflacions i interès**

Per al càlcul del VAN cal tenir en compte l'increment dels preus dels pellets i de l'electricitat. Després de contrastar quina és la tendència dels preus d'aquestes dos fonts energètiques, s'ha decidit treballar amb una inflació del 3% per als pellets i amb una inflació del 2% per l'electricitat. El cost de manteniment s'ha decidit que no tindrà cap inflació.

Finalment, per a calcular el VAN, cal fixar una taxa d'interès per a aquesta inversió. S'ha decidit prendre una taxa de l'1% degut a que és un interès possible en inversions de particulars degut a la tendència monetària. Tot i això, cal comentar que una variació d'aquesta taxa en varia considerablement la rendibilitat, per tant és quelcom que cal mirar-se bé abans de realitzar una inversió. És per això que en aquest apartat el càlcul del VAN s'utilitza únicament per a decidir quina alternativa és la més rendible. Un cop l'alternativa òptima s'hagi trobat es buscarà, mitjançant al TIR, fins a quin interès es podria acceptar.

En aquest estudi ens fixarem sobretot amb el VAN als 30 anys (ja que és la vida útil aproximada d'una instal·lació solar tèrmica ben cuidada).

Els càlculs del VAN per a cada alternativa es poden veure a l'Annex 5.2.

A la Taula 11.4 es pot veure una comparativa entre les diferents alternatives tenint en compte el VAN als 30 anys de la inversió i el termini de recuperació tenint en compte les inflacions i interessos fixats pel VAN.

Instal·lació	Termini recuperació [anys]	VAN (a 30 anys)
<b>Calefacció</b>	25,19	6790,97
<b>ACS</b>	22,84	1857,13
<b>Calefacció + ACS</b>	22,73	12135,62

*Taula 11.4 Termini de recuperació i VAN de les alternatives*

Així doncs, l'alternativa més rendible és la de la instal·lació de calefacció i ACS.

### 11.2.2. Taxa Interna de Rendibilitat (TIR) de l'alternativa òptima

Un cop vist que l'alternativa òptima és la de la instal·lació conjunta per a calefacció i aigua calenta sanitària, mitjançant la TIR es buscarà quina és la taxa que es pot acceptar per a retornar la inversió en 30 anys, xifra que es considera com a la vida útil de la instal·lació.

Així doncs, mitjançant la TIR, s'ha trobat que es pot acceptar fins a un interès del 3,22% per a que la instal·lació sigui rendible als 30 anys vista.

### 11.3. Avaluació de l'estudi econòmic

Amb l'estudi econòmic s'ha pogut apreciar varies coses.

Primerament, cal assenyalar que en aquest cas, la instal·lació dissenyada pot ser rendible. Es diu que "pot ser" per que al cap i a la fi hi ha molts costos, interessos i inflacions assumits que podrien variar.

Seguidament cal valorar que aquesta inversió, tot i ser rendible, és arriscada, ja que tot i que la vida mitja d'una instal·lació sigui d'uns 30 anys, no hi ha cap casa que doni una garantia superior als 20 anys, i pel que s'ha vist en cap cas seria possible veure un retorn econòmic de la inversió amb 20 anys. D'altra banda també s'ha observat que en casos de buscar sistemes de calefacció les inversions inicials són molt elevades, mentre que la instal·lació per ACS, en cas d'un habitatge unifamiliar, implica un estalvi anual molt reduït.

Una raó que pot sumar a l'hora de decidir-se per un sistema de solar tèrmica és la sostenibilitat energètica. En aquest cas, però, això no hauria d'influir ja que el sistema de calefacció actual és de biomassa, per tant emet molt pocs contaminants. Pel que fa al sistema per aigua calenta sanitària tampoc caldria preocupar-se ja que degut al seu baix consum poc impacte ambiental es generaria canviant la instal·lació.

D'aquesta avaluació se'n pot extreure que l'energia solar tèrmica té molt camí per endavant, un camí en el que s'hauria de cercar un augment dels rendiments, una reducció dels costos de construcció i noves alternatives per a sistemes auxiliars. És per aquesta raó que s'ha decidit obrir un últim apartat en el que es parlarà del camí que està seguint aquesta energia i com es podria millorar la rendibilitat d'aquests sistemes en un futur.

## 12. Alternatives innovadores i possibles millores

Al llarg de l'estudi s'han trobat noves solucions que s'estan obrint espai dins del mercat i les quals podrien implicar una millora substancial en el món de l'energia solar tèrmica per a l'ús domèstic.

Aquestes no s'han decidit aplicar en el projecte ja que, degut a la seva joventut, haurien complicat molt l'estudi. Tot i això s'ha cregut apropiat obrir aquest últim punt per a anotar algunes d'aquestes alternatives que en uns anys poden estar dominant aquesta energia i fer-la més rendible.

### 12.1. Captador solar de tubs de buit

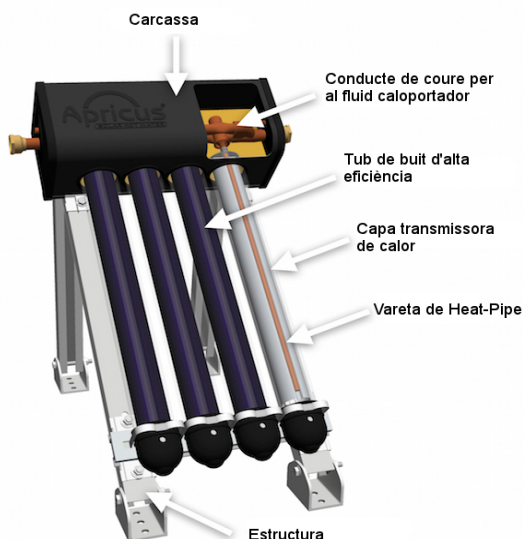


Figura 12.1 Esquema captador solar tubs buit

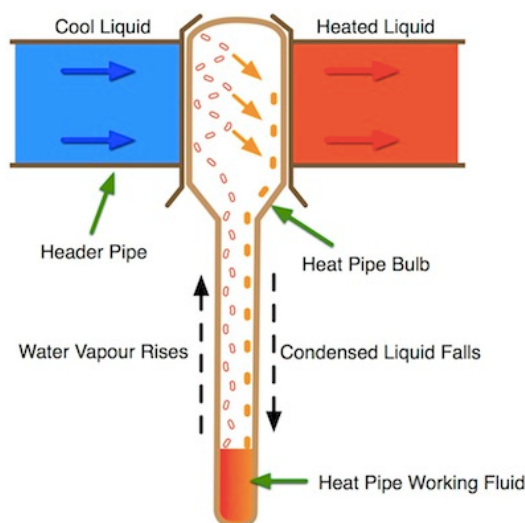


Figura 12.2 Funcionament "heat pipes". Font:[1]

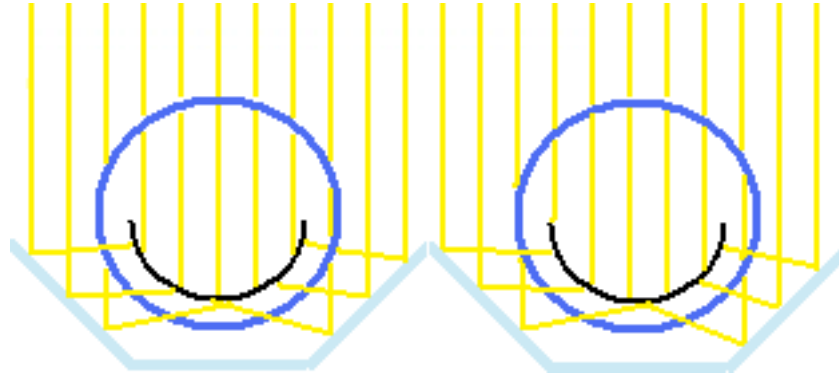
El captador solar de tubs de buit, o "heat pipe", és un panell format per col·lectors lineals allotjats en tubs de vidre que es troben al buit. Es pot veure la seva estructura a la Figura 12.1.

En aquest col·lector, l'absorbidor està connectat a un tub en el qual s'hi allotja un fluid (aigua o alcohol) a baixa pressió, conegut com a "heat pipe" (veure'n funcionament a la Figura 12.2), de manera que a temperatures superiors a 25/30°C es produeix un canvi de fase de líquid a vapor. El vapor puja degut a la diferència de densitats mentre es segueix escalfant. Un cop arriba a la part superior del tub, es troba amb contacte amb un conducte de coure pel que hi circula el fluid caloportador, de manera que es produeix la condensació del fluid que circula pels tubs i s'allibera una quantitat d'energia molt important degut al canvi d'estat, que acaba significat un augment de la temperatura considerable en el fluid caloportador. [4]

En aquests panells és important que hi hagi una inclinació mínima de 20-30° respecte al pla horitzontal per afavorir el procés de canvi de fase.

Degut a la forma circular dels tubs, els rajos de sol incideixen més eficaçment al llarg de tot al dia, aprofitant-ne al màxim l'energia des de la sortida del sol fins a la seva posta.

És habitual, d'altra banda, implementar reflectors per a poder aprofitar tota la superfície cilíndrica de l'absorbidor, fent que aquesta sigui la superfície dels reflectors, tal com es pot veure a la Figura 12.3.



*Figura 12.3 Heat pipes amb reflectors.*

## 12.2. Panells solars híbrids

Fins fa ben poc existia una barrera que separava les dues grans tecnologies d'aprofitament solar a nivell domèstic existents; l'energia solar tèrmica de baixa temperatura i la fotovoltaica.

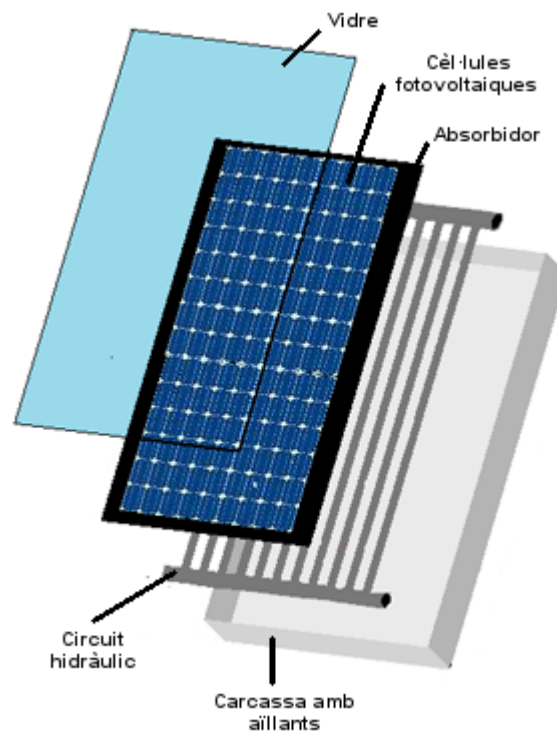
Al llarg del treball ja s'ha vist que l'energia solar tèrmica de baixa temperatura és rendible només en casos concrets i que encara queda un llarg camí per a abaratir-ne els costos generals. A l'altra mà, però, trobem la fotovoltaica, que sempre ha presentat una eficiència molt baixa, entre el 10 i el 20%, i que, d'altra banda, es veu penalitzada pel sobreescalfament que pateixen les cèl·lules degut a la incidència de la radiació solar.

Per a solucionar aquest problema va aparèixer la tecnologia solar híbrida. Aquesta, consisteix en aprofitar l'energia tèrmica residual del panell fotovoltaic mitjançant un recuperador de calor que, alhora, disminueix la temperatura de treball de les cèl·lules fotovoltaïques. Unint d'aquesta manera la solar tèrmica amb la tecnologia fotovoltaica s'arriba a incrementar l'eficiència del panell per sobre del 70%. [16]

El funcionament és aparentment senzill, i és que sobre un absorbidor de col·lector solar tèrmic s'instal·len les cèl·lules fotovoltaïques amb el seu cablejat corresponent, tal com es pot apreciar a la Figura 12.4. Pel que fa als altres components, com són el circuit hidràulic, la carcassa i el vidre, el col·lector és idèntic a un captador pla. Entre el vidre solar i les cèl·lules



fotovoltaïques, existeix un espai per tal de potenciar l'efecte hivernacle i així millorar l'eficiència del sistema tèrmic.



*Figura 12.4 Esquema del panell solar híbrid.*

Pel que fa a la repartició de l'energia, com és conegut, l'espectre de la radiació solar aprofitada va des de l'infraroig fins al ultravioleta. Els panells fotovoltaïcs funcionen millor en la gama alta de l'espectre, és a dir, al voltant del ultravioleta, mentre que l'infraroig és l'encarregat d'aportar calor, un fet negatiu per a l'eficiència del panell fotovoltaïc però positiu per a produir energia tèrmica solar amb un col·lector solar tèrmic. Així doncs, un sistema solar híbrid és capaç d'aprofitar un rang molt ample de l'energia que conté la llum solar.

Així doncs, els panells solars híbrids aconsegueixen 3 objectius:

- Obtenció d'electricitat solar.
- Obtenció d'aigua calenta sanitària.
- Millora del rendiment del panell solar fotovoltaïc. L'eficiència màxima d'un panell solar fotovoltaïc és aquella en la que la temperatura del panell és de 25°C. A partir d'aquest punt, a més temperatura, menys rendiment. Aquests panells poden assolir temperatures de fins a 50 o 60°C, i és per això que el panell solar híbrid, refrigerat per la part tèrmica, pot presentar un rendiment mitjà bastant superior.

Els panells solars híbrids, encaixen a la perfecció amb aquells habitatges que desitgen tenir una instal·lació solar per a ACS i una altra per a electricitat, ja que es redueixen molt els costos adquirint un sol panell enlloc de dos. D'altra banda, en els panells híbrids el circuit tèrmic té una utilitat en qualsevol època de l'any, sempre procurant evitar entrar en un estat d'estancament, ja que a l'estiu, tot i que el consum sigui inferior a la producció d'aigua calenta sanitària, el circuit hidràulic millora quantitativament el rendiment de les cèl·lules fotovoltaïques. A la Figura 12.5 es pot veure un exemple d'instal·lació mixta elèctrica/tèrmica.

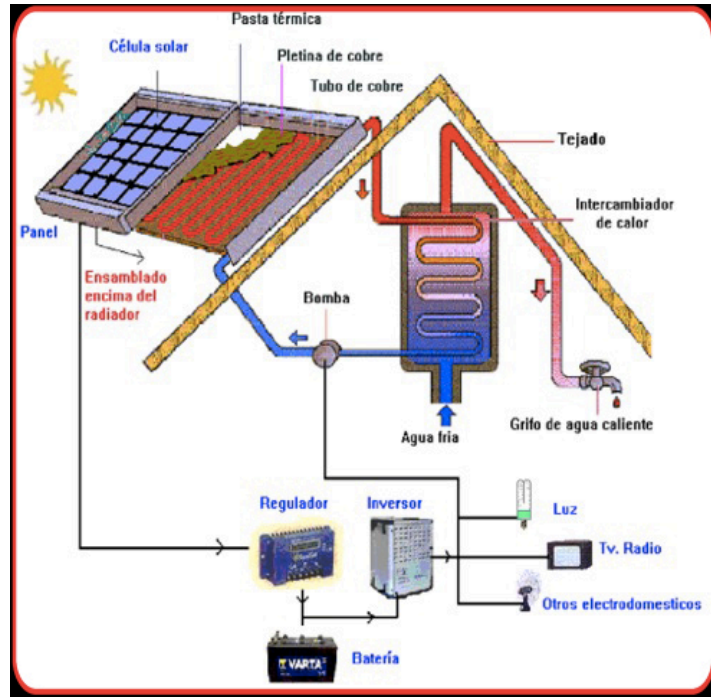


Figura 12.5 Instal·lació mixta elèctrica/tèrmica amb placa solar híbrida. Font: [16]

Una altra avantatge d'aquest sistema és que el circuit tèrmic augmenta la vida útil del panell fotovoltaic, ja que treballant a una temperatura més òptima el material es degrada més lentament i és capaç de treballar a ple rendiment durant més anys.

## 12.3. Altres millores dins del circuit tèrmic

### 12.3.1. Acumuladors d'inèrcia

Els acumuladors d'inèrcia no són ben bé una innovació, sinó una possible millora, i és que són comunament utilitzats en grans instal·lacions tèrmiques. Aquests s'encarreguen d'acumular una quantitat determinada de calor per abastir moments d'alta demanda tèrmica, de manera que s'evita qualsevol interrupció en l'equip de calefacció i permet gestionar l'energia d'una manera molt més eficient, ajustant la corba de demanda i generació.[4]

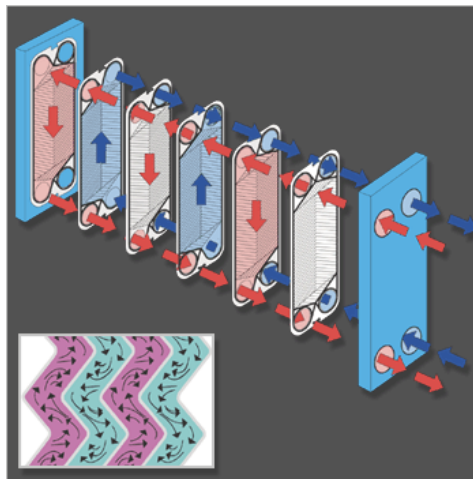
Un dipòsit d'inèrcia es para i s'engega en funció de la temperatura del dipòsit i no de la demanda del circuit de calefacció. Aquest mètode redueix el nombre de parades i engegades, el que desemboca en una major vida útil de tots els elements del sistema de calefacció i en redueix el consum.

Aquests són recomanats en instal·lacions per a calefacció solar, i sobretot quan el sistema de calefacció es basa en el terra radiant.

### 12.3.2. Intercanviador de plaques

L'intercanviador de plaques és un tipus d'intercanviador exterior molt utilitzat en instal·lacions encarregades d'escalfar grans quantitats d'aigua, degut a que són petits, econòmics i molt eficients.[4]

En un intercanviador de plaques es disposa de dos fluids, un de calent (de color vermell a la Figura 12.6) i un de fred (de color blau), els quals intercanvien el seu calor a través de les plaques corrugades.



*Figura 12.6 Intercanviador de plaques*

Entre les plaques de l'intercanviador de calor es formen canals i els orificis de les cantonades estan col·locats de tal manera que els dos líquids circulen per canals alterns. El calor es transfereix per la placa entre els canals. Per a incrementar l'eficiència al màxim d'aquests intercanviadors es genera un flux a contracorrent. D'altra banda, la rugositat de les plaques genera un flux turbulent que augmenta l'eficiència de l'intercanvi tèrmic i protegeix la placa contra la pressió diferencial.

## Conclusions

Al iniciar el projecte, l'objectiu era descobrir si era viable i rendible realitzar una instal·lació solar a la masia que s'ha estudiat. Respecte això, les conclusions són:

- L'alternativa òptima és aquella que engloba l'abastiment de l'ACS i la calefacció amb un mateix sistema.
- La inversió per a realitzar aquesta instal·lació no es recuperaria abans dels 20 anys.
- Si la instal·lació restés operacional fins als 30 anys sortiria rendible.

Pel que fa a la masia, hi ha molts fets a considerar per a optimitzar una possible instal·lació solar. Aquests són:

- Les pèrdues per ventilació equivalen a un 10% de les pèrdues per transmissió. Es podria considerar introduir un aïllant als tancaments de l'habitatge.
- La demanda energètica per a calefacció és molt elevada per a un habitatge de tres persones. Una opció seria reduir les sales a escalfar o introduir un sistema de calefacció més efectiu com seria el terra radiant.
- Al llarg dels mesos d'estiu la majoria de l'aigua calenta que es produeix és desaprofitada. En aquest cas, si la masia comptés amb una piscina exterior o climatitzada seria un encert introduir aquests sistemes ja que a l'estiu tota l'energia produïda seria aprofitada per la piscina.
- Possiblement, abans de pensar en un sistema d'obtenció d'energia renovable caldria pensar en com reduir la demanda energètica.

Finalment, pel que fa a les instal·lacions solars tèrmiques, es podria dir que:

- Actualment només són molt rendibles en casos molt concrets (grans instal·lacions amb un consum anual molt constant).
- Té un marge de millora molt gran i s'estan introduint noves propostes que podrien solucionar molts problemes que es troben actualment aquestes instal·lacions.

## Agraïments

Primerament agrair al professor Lluís Albert Bonals Muntada haver-me transmès els coneixements necessaris per encarar aquest projecte i, sobretot, les ganes de seguir aprenent i veure com la tecnologia que s'ha tractat al llarg del treball pot seguir avançant. D'altra banda agrair-li també la seva guia, indispensable en els moments més crucials del projecte.

Seguidament voldria agrair també al meu tiet Xavier Vinuesa, a la Judith Folch i a la Nit, per deixar-me que em presentés a la seva masia cada cop que ho necessitava per a tirar endavant el treball i per ajudar-me des de la distància sempre que podien.

## Bibliografia

### Referències bibliogràfiques

- [1] APRICUS, Solar Hot Water, Solar Products, Heat Pipes, Structure and Operation, [[http://www.apricus.com/html/solar\\_collector\\_heat\\_pipe.htm#.WUv60BPju0](http://www.apricus.com/html/solar_collector_heat_pipe.htm#.WUv60BPju0), Accedit: 8/06/17]
- [2] Centro Español de Información del Cobre (CEDIC), Norma UNE-EN 1057, [[http://elcobre.com/sites/default/files/publication\\_files/calculo-perdidas-de-carga.pdf](http://elcobre.com/sites/default/files/publication_files/calculo-perdidas-de-carga.pdf), Accedit: 23/05/17]
- [3] CTE Web, Prontuario de soluciones constructivas, Materiales [<http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=1>, Accedit: 5/04/17].
- [4] DOCAMPO REY, P., GARCIA CASAL, W., Guía Práctica de Energía Solar, Galicia: Colegio Oficial de Arquitectos de Galicia, 2006, p.15-79
- [5] ECONOMIPEDIA, Valor Actual Neto, [<http://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>, Accedit: 12/06/17]
- [6] EHU, Cálculo del coeficiente de transmisión de calor K de cerramientos, [<http://www.ehu.eus/mmtde/materiala/aislamtoedificios/PDF/Documentos/3CALCULO.pdf>, Accedit: 5/04/17]
- [7] GLOBAL CCS Institute, Publication: VI.1 Heat demand, Heating Degree Days, [<https://hub.globalccsinstitute.com/publications/reduction-residential-carbon-dioxide-emissions-through-use-small-cogeneration-fuel-c-17>, Accedit: 19/04/17]
- [8] IDAE, Guía técnica: *Condiciones climáticas exteriores de proyecto*, Eficiencia y ahorro energético, [[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_12\\_Guia\\_tecnica\\_condiciones\\_climaticas\\_exteriores\\_de\\_proyecto\\_e4e5b769.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12_Guia_tecnica_condiciones_climaticas_exteriores_de_proyecto_e4e5b769.pdf), Accedit: 7/04/17]
- [9] INGEMECA, Método de cálculo F-Chart, Tutorial Semanal, [<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut188/doc1tut188.pdf>, Accedit: 27/04/17]
- [10] JOHN A., DEAN, Lange's handbook of chemistry, 15ª ed., p.455-460
- [11] Ministerio de Fomento, "Documento Básico HE, Ahorro de Energía", CTE, p.7-58

- [12] Ministerio de Fomento, "Documento Básico HS, Salubridad", CTE, p.65-67
- [13] Ministerio de Fomento, "Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE", CTE, Cálculo de parámetros característicos de la envolvente, p.2-13.
- [14] NBE-CT-79, "Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Térmicas", Real Decreto, p.1-43
- [15] OKAFOR, I.F., AKUBUE, G., F-Chart Method for Designing Solar Thermal Water Heating Systems, International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 3, Issue 9, Septiembre-2012.
- [16] PANEL SOLAR HÍBRIDO, [<https://panelsolarhibrido.es/>, Accedit:11/06/17]
- [17] PETROMERCADO, Poder calorífico inferior y superior, [<http://petromercado.com/blog/37-articulos/105-poder-calorifico-inferior-y-superior.html>, Accedit: 14/03/17]
- [18] PONCE, J., Formatec, [<http://javiponce-formatec.blogspot.com.es/2013/09/calculo-del-vaso-de-expansion-de-una.html>, Accedit:1/06/17]
- [19] REN21, Global Status Report, 2015, p.26-70
- [20] RITE, Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, 2006, p. 1-106
- [21] UNE EN 100002:1988, "Climatización. Grados-día base 15 grados centígrados". AENOR. p.1-28.
- [22] UNE EN 100155:2004, "Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión". AENOR. p.1-28.

## Bibliografia complementària

- [23] ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *Fundamentals Volume (S.I. edition.)*. Atlanta: 2001, p. 608-683
- [24] BONALS MUNTADA, LLUÍS ALBERT: *Transferència de calor: Apunts de classe*, ETSEIB, UPC, Barcelona, 2017, p.4-33.
- [25] COL·LEGI D'ARQUITECTES DE CATALUNYA, Guia: Bases de càlcul, CTE DB-HE 4, [www.coac.net/oct](http://www.coac.net/oct), Abril 2007, p.1-10.
- [26] DE CUSA, JUAN: *Energía Solar para Viviendas*, CEAC, Monografías de la

construcción 2004, p.8-134.

**[27]** WHITE, F.M., Fluid Mechanics, McGraw-Hill, 1999. p.347-428

**[28]** IDAE, Guía técnica: *Agua caliente sanitaria central*, Eficiencia y ahorro energético, [[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_08\\_Guia\\_tecnica\\_agua\\_caliente\\_sanitaria\\_central\\_906c75b2.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_08_Guia_tecnica_agua_caliente_sanitaria_central_906c75b2.pdf)]